

Aus dem Institut für Nutztierwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin

Fachgebiet Futtermittelkunde

Prof. Dr. habil. E. Kaiser



DISSERTATION

Gärqualität und Schimmelpilzwachstum in Silagen in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum agriculturalarum

(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der

Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät

von

Diplom-Agraringenieur Klaus-Josef Schmerbauch

geboren am 25. Juni 1963 in Faulungen (Thüringen)

Dekan Prof. Dr. Dr. h.c. mult. E. Lindemann

Gutachter: 1. Prof. Dr. habil. E. Kaiser
 2. Prof. Dr.-Ing. habil. C. Fürll
 3. Prof. Dr. Dr. J. Bauer

eingereicht am: 23. August 1999

Datum der Promotion: 15. März 2000

Schlagwörter

Silage, Lagerungsdichte, Luftabschlußgüte, Schimmelpilze, Ergosterin, Mykotoxine

Abstrakt

Das Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung der Grenzbedingungen von Lagerungsdichte und äußerer Luftabschlußgüte (Gasdurchlässigkeit des Zudeckmaterials), unter denen Schimmelpilzwachstum während der Silagelagerung eingeschränkt wird.

Den Schwerpunkt bildeten 10 Praxis- und Laborsiliverversuche mit extensiv erzeugtem Grünfutter, das aufgrund relativ hoher Rohfasergehalte allgemein schwer verdichtbar ist. In den Silagen wurde die Pilzkeimzahl sowie der Gehalt an Ergosterin und Roquefortin C bestimmt.

Für die Analyse des Ergosteringehaltes wurde eine neue Methode entwickelt. Die Gasdurchlässigkeit von 1 – 8 Folienlagen der verwendeten Silierstretchfolie wurde radiometrisch gemessen.

Im Versuchszeitraum (1995 – 1997) wurde Grünfutter von jahreszeitlich verschiedenen Aufwüchsen unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen einsiliert. Mit Hilfe drei verschiedener Ballenpressen wurden insgesamt 165 Silageballen mit unterschiedlichen Lagerungsdichten erzeugt. Die Folienlagenzahl und die Lagerdauer bei den Silageballen wurde gestaffelt. Hierdurch sollte der Einfluß des Luftabschlusses auf Gärqualität, Pilzbefall und Mykotoxingehalt in den Silagen untersucht werden. Im Labor wurden Einflußfaktoren wie der Trockenmassegehalt (T-Gehalt) des Siliergutes geprüft.

In den Praxisversuchen trat bei einem T-Gehalt < 400 g/kg unabhängig von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß eine relativ starke Buttersäurebildung in den Silagen auf. Dagegen wurden bei einem T-Gehalt > 450 g/kg bei ausreichendem Luftabschluß buttersäurefreie ($\leq 0,3$ % T) Silagen erzielt. Hier lag offenbar ein ausreichender T-Gehalt zur Sicherung einer guten Gärqualität vor. In allen Versuchen stellte die Erhöhung der Lagerungsdichte die primäre Grundlage zur Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses in den Silagen dar. Die äußere Luftabschlußgüte besaß im Vergleich dazu sekundären Charakter. Als notwendige Grenzbedingungen des Luftabschlusses zur Erzeugung einer guten Gärqualität sowie zur Einschränkung von Pilzbefall in den Silagen erwiesen sich: (1) eine Lagerungsdichte von mindestens 200-210 kg T/m³ und (2) eine maximale Gasdurchlässigkeit des Zudeckmaterials von 1,7 l/m² in 24 Stunden (6 Folienlagen der verwendeten Silierstretchfolie).

Ein ausreichender Luftabschluß war die Voraussetzung für die Wirksamkeit von Silierzusätzen hinsichtlich der Einschränkung von Pilzbefall und der Verbesserung der Gärqualität in den Silagen.

Die Mykotoxinbildung in den Silagen, die am Beispiel des Vorkommens von Roquefortin C (ROF) untersucht worden ist, wurde ungeachtet von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß vor allem durch den T-Gehalt des Siliergutes beeinflusst. Bei einem T-Gehalt < 450 g/kg enthielten etwa 88 % der in diesem T-Bereich vorliegenden Silagen Roquefortin C. Bei einem T-Gehalt zwischen 450 und 550 g/kg enthielten noch etwa 10 % der hier vorliegenden Silagen Roquefortin C, überwiegend aber im Bereich der Nachweisgrenze von $\geq 0,05$ mg ROF/kg T. Bei einem T-Gehalt > 550 g/kg wurde in den Silagen Roquefortin C nicht nachgewiesen.

Die insgesamt in den Silagen gemessenen Gehalte an Roquefortin C waren mit < 1,0 mg ROF/kg T relativ niedrig. Sie sind bei Verfütterung der Silagen an Wiederkäuer nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand toxikologisch als nicht kritisch einschätzbar.

Keywords

silage, compactness, hermetic level, moulds, ergosterol, mycotoxins

Abstract

The goal of the investigation was to determine the boundary conditions of compactness and hermetic level of covering material (permeability of the covering material) to inhibit mould growth during silage storage.

The emphasis was based on 10 practical and lab ensiling experiments with green forage having a relatively high content of raw fiber, which in general is difficult to compress. The silages were investigated for their mould count, as well as for their content of ergosterol and roquefortine C.

A new method was developed to analyse the ergosterol content. The permeability of 1 – 8 numbers of wraps of the used ensiling stretch film was measured by radiometric methods.

During the experimental time (1995 – 1997), green forage from seasonally different bites were ensiled under practical agricultural conditions. Using three different balers, a total of 165 bales were wrapped at various compactness levels. The numbers of wraps and the storage period of the bales were staggered. Hereby the influence of air exclusion on fermentation quality, mould growth and mycotoxin content in the silage should be tested. In the lab, factors such as the dry matter content (d-content) of the green forage were tested.

In the practical experiments, the results showed that at a d-content of < 400 g/kg, a relatively high amount of butyric acid formed in the silages, independent of the compactness and hermetic level of the covering material. Whereas, at a d-content of > 450 g/kg, no butyric acid ($\leq 0,3$ % dry matter) was found in the silages with sufficient air exclusion. Here, the d-content to ensure a good fermentation quality was sufficient.

In all experiments, the primary way to generate sufficient air exclusion in the silages was to increase the compactness. Compared with this, the hermetic level of covering material had secondary character. To get a sufficient fermentation quality, as well as an inhibition of mould growth in the silages, necessary boundary conditions of air exclusion were: (1) a compactness of at least 200-210 kg T/m³ and (2) a maximum permeability of the covering material of 1,7 l/m² in 24 hours (6 numbers of wraps of the used ensiling stretch film).

Sufficient air exclusion was necessary for the effectiveness of the silage additives in inhibiting mould growth and improving the fermentation quality in the silages.

The mycotoxin formation in the silages, investigated by measuring the occurrence of roquefortine C (ROF), was influenced mainly by the dry matter content of the ensiled material, regardless of the compactness and hermetic level of covering material. At a dry matter content of < 450 g/kg, about 88 % of the silages contained roquefortine C. Between 450 to 550 g/kg dry matter about 10 % of the silages containing roquefortine C, however, at low levels in the range of the detectable content of $\geq 0,05$ mg ROF/kg dry matter. At a dry matter content of > 550 g/kg, no roquefortine C was found in the silages.

Summarised, the measured amounts of < 1,0 mg ROF/kg roquefortine C in the silages is considered to be relatively low. Within the actual state of knowledge of toxicology, it is not considered dangerous to feed ruminant animals with silages containing these low amounts of roquefortine C.

Widmung

Meinen Eltern

Konrad † und Maria Schmerbauch

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Verwendete Abkürzungen	VI

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG 1-1

2. LITERATURÜBERSICHT 2-3

2.1	SILIERUNG VON GRÜNFUTTER.....	2-3
2.2	SCHIMMELPILZWACHSTUM IN SILAGEN	2-6
2.2.1	VORKOMMEN VON SCHIMMELPILZEN	2-6
2.2.2	VORKOMMEN VON MYKOTOXINEN	2-7
2.2.3	BEDEUTUNG FÜR MENSCH UND TIER	2-10
2.3	NACHWEIS VON PILZWACHSTUM	2-12
2.4	EINFLUßFAKTOREN AUF DAS PILZWACHSTUM	2-15
2.5	SCHLUßFOLGERUNGEN.....	2-22

3. MATERIAL UND METHODEN..... 3-23

3.1	PRAXISSILIERVERSUCHE.....	3-23
3.2	LABORSILIERVERSUCHE	3-28
3.3	BEGLEITENDE UNTERSUCHUNGEN	3-33
3.3.1	GASDURCHLÄSSIGKEIT DER VERWENDETEN SILIERSTRETCHFOLIE	3-33
3.3.2	TOXINBILDUNGSVERMÖGEN VON PENICILLIUM ROQUEFORTI - ISOLATEN.....	3-34
3.3.3	METHODENVERGLEICH ZUR BEURTEILUNG DER AEROBEN STABILITÄT	3-36
3.4	VERWENDETE ANALYSENMETHODEN.....	3-37
3.4.1	CHEMISCHE ANALYTIK	3-37
3.4.2	MIKROBIOLOGISCHE ANALYTIK	3-39
3.4.3	EIGENE ENTWICKLUNG UND MODIFIKATION VON CHEMISCHEN METHODEN	3-39
3.4.3.1	Bestimmung von Ergosterin	3-40
3.4.3.2	Bestimmung von Roquefortin C.....	3-43

4. ERGEBNISSE..... 4-46

4.1	PRAXISSILIERVERSUCHE.....	4-46
4.1.1	GÄRQUALITÄT.....	4-46
4.1.2	PILZWACHSTUM.....	4-58
4.1.3	MYKOTOXINGEHALT	4-70
4.2	LABORSILIERVERSUCHE	4-74
4.2.1	GÄRQUALITÄT.....	4-74
4.2.2	PILZWACHSTUM.....	4-80
4.2.3	MYKOTOXINGEHALT	4-84

4.3	PILZWACHSTUM UND ERGOSTERINGEHALT	4-86
4.4	GASDURCHLÄSSIGKEIT VON SILIERSTRETCHFOLIE	4-90
4.5	AEROBE STABILITÄT DER SILAGEN	4-91
4.5.1	METHODENVERGLEICH	4-91
4.5.2	AEROBE STABILITÄT UND LUFTABSCHLUß	4-92
4.6	TOXINBILDUNGSVERMÖGEN VON PENICILLIUM ROQUEFORTI-ISOLATEN	4-94
<u>5. DISKUSSION</u>		<u>5-96</u>
5.1	GÄRQUALITÄT DER SILAGEN	5-96
5.2	PILZWACHSTUM	5-105
5.3	MYKOTOXINGEHALT	5-113
<u>6. ZUSAMMENFASSUNG</u>		<u>6-115</u>
<u>7. LITERATURVERZEICHNIS</u>		<u>7-117</u>

Anhang

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Ernte, Pflanzenbestand, Siliergutparameter und Varianten bei den Praxissilier- versuchen.....	3-24
Tab. 2: Ernte, Pflanzenbestand und Siliergutparameter bei den Laborsilievierversuchen.....	3-30
Tab. 3: Varianten der Laborsilievierversuche (L 1: Faßsilos, L 2 bis L 5: Laborsilos).....	3-31
Tab. 4: Wiederfindungsrate von Ergosterin in verschiedenen Futtermitteln	3-42
Tab. 5: Wiederfindungsrate von Roquefortin C in Grassilage.....	3-45
Tab. 6: Versuch P 1 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 4 Monaten Lager (n = 2)	4-47
Tab. 7: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 6 Monaten Lager (n = 2)	4-48
Tab. 8: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 6 Monaten Lager (n = 1-2).....	4-50
Tab. 9: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 5 Monaten Lager (n = 2).....	4-53
Tab. 10: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 4 Monaten Lager (n = 1-2).....	4-56
Tab. 11: Versuche P 1 bis P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Pilzbefall in Rand und Kern von Silagen nach 4 bis 6 Monaten Lager	4-59
Tab. 12: Versuche P 4 und P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagen- zahl auf den Pilzbefall in Rand und Kern von Silagen nach 4 bis 5 Monaten Lager	4-64
Tab. 13: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) auf ausgewählte Gärparameter und die Pilzkeimzahl in Rand und Kern von Silagen bei 6 Folienlagen	4-69
Tab. 14: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf das Vorkommen von Roquefortin C ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) in den Silagen (n = 330)	4-70
Tab. 15: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Roquefortin C - Gehalt in Rand und Kern von Silagen nach 4 - 6 Monaten Lager....	4-71
Tab. 16: Versuch L 1 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte, Silierzusätzen und äußerem Luftabschluß auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen (Faßsilos) nach 3 Monaten Lager (n = 2) 4-75	4-75
Tab. 17: Versuche L 2 und L 3 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärpa- rameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei Erdeintrag und verstärkter Lufteinwirkung (n = 3-4).....	4-75
Tab. 18: Versuch L 4 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei verstärkter Lufteinwirkung und Pilzsporenbeimpfung (n = 1-2).....	4-78
Tab. 19: Versuch L 5 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei verstärkter Lufteinwirkung und Pilzsporenbeimpfung (n = 1-2).....	4-79
Tab. 20: Versuche P 2 bis P 5 - Aerobe Stabilität (Temperaturanstieg) in Rand und Kern der Silagen bei Unterteilung in die einzelnen Varianten der Verdichtung (C / R / RS).....	4-93
Tab. 21: Toxinbildungsvermögen von aus Grassilagen isolierten <i>Penicillium roqueforti</i> - Stämmen (Nährmedium: Grassilage, 14 Tage abgedunkelt bei Raumtemperatur aerob inkubiert)	4-95

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Ökologische Parameter für Pilzwachstum und Mykotoxinbildung [OMINSKI et al., 1994]	2-15
Abb. 2: Einfluß des a_w -Wertes auf Wachstum und Mykotoxinbildung ausgewählter Schimmel- pilzarten [nach Ergebnissen von NORTHOLT et al., 1978; NORTHOLT et al., 1979a]	2-17
Abb. 3: Grassilagebereitung mit einer hochverdichtenden Compactrollenpresse	3-25
Abb. 4: Auslagerung der Silageballen mit einem Ballenschneidmesser	3-27
Abb. 5: Schematische Darstellung eines zylindrischen Laborsilos für die Versuche L 2 bis L 5 ..	3-28
Abb. 6: Stahlbehälter zur radiometrischen Messung der Gasdurchlässigkeit von Stretchfolie.....	3-33
Abb. 7: Schema der Messung des Temperaturanstiegs zur Beurteilung der aeroben Stabilität ..	3-37
Abb. 8: Versuch P 1 - Beziehung zwischen Pilzkeimzahl (lg) und pH-Wert in den Silagen	4-47
Abb. 9: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)	4-49
Abb. 10: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-51
Abb. 11: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Milchsäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-52
Abb. 12: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-54
Abb. 13: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Milchsäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-57
Abb. 14: Versuch P 1 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)	4-60
Abb. 15: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)	4-61
Abb. 16: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-62
Abb. 17: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)	4-65
Abb. 18: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)	4-66
Abb. 19: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl in Rand und Kern der Silagen (n: R = 122 / RS = 60 / C = 148)	4-68
Abb. 20: Versuche P 1 bis P 5 - Vorkommen von Roquefortin C ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) in den Silagen in Abhängigkeit von Pilzkeimzahl (lg) und T-Gehalt (n = 330)	4-72
Abb. 21: Versuche P 1 bis P 5 - Vorkommen von Roquefortin C ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) in den Silagen in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und T-Gehalt (n = 330)	4-73
Abb. 22: Versuch L 1 - Einfluß von T-Gehalt, Silierzusätzen und Luftabschluß auf den Pilzbe- fall in verschiedenen Schichten von Silagen (Faßsilos) nach 3 Monaten Lager (n = 2)	4-81

Abb. 23: Versuche L 2 und L 3 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt, Folienlagenzahl und Lufteinfluß auf den Pilzbefall in Silagen bei Schadbelastung durch Erdeintrag, 1 Monat Lager (n = 3-4)	4-82
Abb. 24: Versuche L 4 und L 5 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt, Folienlagenzahl und Pilzsporenbeimpfung auf den Pilzbefall in Silagen bei verstärktem Lufteinfluß, 1 Monat Lager (n = 1-2)	4-83
Abb. 25: Versuche L 4 und L 5 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt und Folienlagenzahl auf den Mykotoxingehalt in beimpften Silagen bei verstärkter Lufteinwirkung, 1 Monat Lager (n = 1-2)	4-85
Abb. 26: Versuche L 4 und L 5 - Beziehung zwischen T-Gehalt und Roquefortin C-Gehalt in mit <i>Penicillium roqueforti</i> beimpften Silagen bei verstärkter Lufteinwirkung, 1 Monat Lager (n = 1-2)	4-85
Abb. 27: Versuch P 3 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf den Ergosterin-gehalt in Rand und Kern der Silagen (n: R = 14 / C = 32)	4-86
Abb. 28: Versuche P 1, P 2, P 4 und P 5 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf den Ergosterin-gehalt in Rand und Kern der Silagen (n: R = 108 / RS = 60 / C = 116) ...	4-87
Abb. 29: Beziehung zwischen Pilzkeimzahl und Ergosterin-gehalt in ausgewählten Versuchen ..	4-88
Abb. 30: Versuche P 1 bis P 5 - Pilzkeimzahl (logarithmisch) und Ergosterin-gehalt in Rand und Kern der Silagen in Abhängigkeit von der Folienlagenzahl (n: R = 122 / RS = 60 / C = 148)	4-89
Abb. 31: Gasdurchlässigkeit bei unterschiedlicher Anzahl von Stretchfolienlagen (1 F bis 8 F) ..	4-90
Abb. 32: Versuche P 2 bis P 5 - Vergleich der Meßergebnisse von zwei Methoden (Temperaturanstieg / Sauerstoffverbrauch) zur Beurteilung der aeroben Stabilität von Silagen (n = 107)	4-92
Abb. 33: Versuch P 5 - Einfluß von T-Dichte und Folienlagenzahl auf die aerobe Stabilität (AE-T) in Rand und Kern von 2 und 4 Monate gelagerten buttersäurefreien Silagen (n: R=24 / C=24).....	4-93
Abb. 34: Versuch P 5 - Beziehung zwischen aerober Stabilität (Temperaturanstieg) und Pilz-keimzahl (lg) in 2 und 4 Monate gelagerten buttersäurefreien Silagen (n: R=24 / C=24)	4-94

Verwendete Abkürzungen

Versuchsdurchführung / Variantengestaltung / Probenahme

V	Versuch
AW	Grünfutter-Aufwuchs
P / L	Praxissilierversuch / Laborsilierversuch
L-M	Variante der Lagerungsdauer (in Monaten)
LDI	Variante der Verdichtung bzw. des Preßverfahrens
C / R / RS	Compactrollen / Rundballen / Rundballen mit kürzerer Häcksellänge
WG	Variante des Anwelkgrades bzw. Trockenmassegehaltes
W0/ W1/ W2/ W3	frisch einsiliert bzw. nicht gewelkt / 24 h gewelkt / 48 h gewelkt / 72 h gewelkt
F-A	Variante der Folienlagenzahl bzw. der äußeren Luftabschlußgüte
1 F bis 8 F / D	1 bis 8 Folienlagen / Deckelverschluß
LDS	Variante der Luft- bzw. Innendruckschwankungen in den Laborsilos
VDS	verstärkte Luft- bzw. Innendruckschwankungen (-20 mbar)
NDS	normale bzw. natürliche Luft- bzw. Innendruckschwankungen
SZ	Silozone (Probenahmezonen in Silageballen bzw. Faßsilos)
Ra / Ke	Rand- / Kernzone der Ballensilagen (bei Faßsilos Rand- / Kernschicht)
SM	Siliermittel, Silierzusatz
SB	Variante der Schadbelastrung des Siliergutes
PBI	Beimpfung mit <i>Penicillium roqueforti</i> , Inokulation mit Sporensuspension
OBI	ohne Beimpfung, natürlicher Besatz mit Flora an Mikroorganismen
n	Stichprobenumfang (A, B: Bezeichnung der Silageballen / Silos einer Variante)
n.v.	Variante nicht vorhanden (ertragsbedingt und / oder aus technischen Gründen)

Analytik / Parameter in Grünfutter und Silagen

VK	Vergärbarkeitskoeffizient
FM	Frischmasse, Frischsubstanz, Originalsubstanz
T	Trockenmasse, Trockensubstanz
T-DI	Trockenmasse-Lagerungsdichte
T-GH	Trockenmasse-Gehalt (Bei Silagen wurde eine Korrektur vorgenommen.)
RA	Rohasche
RP	Rohprotein
RF	Rohfaser
RC	Rohcellulose

WLKH	wasserlösliche Kohlenhydrate
PK	Pufferkapazität
NO ₃	Nitrat
GV	Gärverlust
pH	pH-Wert
MS	Milchsäure
ES	Essigsäure
PS	Propionsäure
BS	Buttersäure (hier: n-Buttersäure)
AL	Alkohol (hier: Ethanol + Propanol)
NH ₃	Ammoniak
NH ₃ -N	Ammoniakstickstoff (hier: in % des Gesamtstickstoffs angegeben)
SCHI	visuell eingeschätzte Verschimmelung der Probenahmezone der Silageballen bzw. Laborsilos (prozentual angegeben)
ERG	Ergosterin
ROF	Roquefortin C
KBE _{lg}	koloniebildende Einheit, colony forming unit (logarithmisch dargestellt)
PK-Z	Pilzkeimzahl (hier: Hefen + Schimmelpilze)
MSB / MSB-Z	Milchsäurebakterien / Milchsäurebakterienzahl
LIST-Z	Listerienzahl (hier: <i>Listeria innocua</i> + <i>Listeria monocytogenes</i>)
AE-T	aerobe Stabilität bei Messung des Temperaturanstiegs
K	Grad Kelvin
AE-S	aerobe Stabilität bei Messung des Sauerstoffverbrauchs
BSB ₅	biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
O ₂	Sauerstoff
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
NWG	Nachweisgrenze
n.u.	nicht untersucht
n.n.	nicht nachgewiesen, unterhalb der Nachweisgrenze der angewandten Methode

Sonstige Abkürzungen

DSMZ	„Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH“
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
Fort.	Fortsetzung
INW	Institut für Nutztierwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin

1. Einleitung und Problemstellung

Die Sicherung einer offenen und artenreichen Kulturlandschaft in Mitteleuropa erfordert die Landschaftspflege in der Agrarlandschaft [MEISEL, 1984; MAYERL, 1990]. Großflächige Landschaftspflege besteht überwiegend aus Maßnahmen zum Offenhalten von Grünlandbiotopen in Form einer extensiven Landwirtschaft und ist an die ortsansässigen, landwirtschaftlichen Betriebe gebunden [N.N., 1993; BEDNARZ, 1994]. In extensiv ausgerichteter Grünlandwirtschaft und der Landschaftspflege fallen große Mengen rohfaserreichen Grünfutters an [ZIMMER, 1990; KNAUER, 1993]. Die Verwendung fütterungstauglichen Mähgutes in der Tierhaltung sollte Vorrang vor dessen Entsorgung durch Verfahren wie Mulchen oder Kompostieren besitzen [PROCHNOW, 1994].

Ausreichende Winterfutterkonservierung erfordert, dieses Material durch das allgemein dominierende Konservierungsverfahren, die Silagebereitung, nutzen zu können. In der Fütterung nicht verwertbare Aufwüchse können durch Silierung für die Nutzverbrennung [BAUER et al., 1994; KASPER und HAHN, 1994] oder Biogasgewinnung [STEWART, 1980] aufbereitet werden. Ergebnisse zur Silierung von extensiv erzeugtem Grünfutter liegen jedoch erst in begrenztem Umfang vor [KAISER et al., 1994; WEISSBACH und HONIG, 1996]. Infolge des mangelnden Nitratgehaltes im Mähgut wird insbesondere mit dem frühzeitigen Auftreten von Buttersäure und einer erhöhten Clostridienbelastung in den Silagen gerechnet [KAISER et al., 1997; KAISER und WEISS, 1997].

Bei Silierversuchen mit überständigen Aufwüchsen aus der Landschaftspflege wurde vor allem eine unerwartet starke Schimmelpilzentwicklung bei den erzeugten Silagen festgestellt. Obwohl die Silageballen praxisüblich mit bis zu 6 Folienlagen umwickelt wurden, waren die Silagen bei der Auslagerung bis in den Kernbereich hinein stark verschimmelt [PROCHNOW, 1994]. Nach bisherigen Erkenntnissen ist bei einer Anzahl von 6 Folienlagen ein ausreichender Luftabschluß von Silageballen gewährleistet, so daß während der Lagerung kein derart starkes Schimmelpilzwachstum stattfinden dürfte [ITOKAWA et al., 1995; FYCHAN und JONES, 1996; KELLER et al., 1997]. Es wurde deutlich, daß die für konventionell erzeugtes Grünfutter bekannten Silierverfahren hinsichtlich der Einschränkung von Schimmelpilzwachstum nicht ohne weiteres auf die Silierung von extensiv erzeugtem Grünfutter und Landschaftspflegegut übertragbar sind.

Neben speziellen Mähguteigenschaften [DANIEL, 1984], wie chemische Zusammensetzung und Kontaminationsgrad mit Schimmelpilzen, kommen siliertechnische Faktoren als Ursache der erhöhten Pilzentwicklung bei Silagen aus extensiv erzeugtem Siliergut in Betracht. Die Gefahr von Schimmelpilzwachstum in Silagen besteht allgemein bei zunehmendem Gasaustausch, der durch Mängel im Luftabschluß hervorgerufen wird [LINDGREN, 1991]. Der Umfang des Gasaustausches zwischen Silage und Umgebungsluft ist dabei vor allem von der Größe des Porenvolumens in der Silage abhängig, das seinerseits durch die Lagerungsdichte der Silage bestimmt wird [MÜLLER, 1969; RETTIG, 1972; WEISE et al., 1975; WEISE, 1978; HONIG, 1991; MCGECHAN, 1991].

Besondere Probleme im Hinblick auf die Verdichtbarkeit bereitet physiologisch älteres Pflanzenmaterial, wie es häufig unter extensiven Produktionsbedingungen und in der Landschaftspflege

vorliegt [OTTO et al., 1993; PROCHNOW, 1994]. Aufgrund seiner starken Rückdehnungseigenschaften läßt sich dieses trockenmasse- und rohfaserreiche Material nur schwer verdichten und ein ausreichender Luftabschluß ist kaum zu gewährleisten [MÜLLER, 1969; FÜRLL, 1973; FÜRLL, 1975; MÜLLER und BREUNIG, 1981]. Mit einem mehr oder weniger starken Lufteintrag während der Lagerung ist hier sowohl in den Randschichten von Silos (z.B. Horizontalsilo, Freigärhaufen, Schlauchsilierversfahren) als auch bei den verschiedenen Arten von Ballensilagen zu rechnen. Dies ist wahrscheinlich die Ursache dafür, daß es in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter und Landschaftspflegegut während der Lagerung oft zu einem starken Schimmelpilzwachstum kommt.

Schimmelpilzbefall und dadurch eventuell verursachte Mykotoxinbildung müssen bei der Silierung von Halmgut sicher und nachhaltig unterbunden werden, ungeachtet, ob die Silagen verfüttert oder einer anderen Verwertung zugeführt werden. Neben der Minderung des Futterwertes der Silagen geht von Pilzsporen und insbesondere von Mykotoxinen eine Gesundheitsgefährdung für Landwirte und Nutztiere aus. Darüber hinaus besteht bei Fütterung toxinhaltiger Futtermittel infolge „carry over“ das Risiko einer Mykotoxinbelastung der von den Nutztieren gewonnenen Lebensmittel.

Vor der Mykotoxinbildung steht immer das Wachstum toxinogener Schimmelpilze. Der Mykotoxinbelastung kann nur durch vorbeugende Maßnahmen zur Einschränkung des Pilzwachstums wirkungsvoll entgegengewirkt werden. Eine Beseitigung bereits vorhandener Mykotoxine ist bei Silagen nicht praktikabel. Pilzwachstum und Mykotoxinbildung auf Pflanzen bzw. in Futtermitteln sollten zuallererst durch geeignete agrartechnische Maßnahmen verhindert werden [BAUER, 1994].

Die Parameter Lagerungsdichte und Porenvolumen sowie die äußere Abdichtung des Futterstapels gegenüber atmosphärischen Einflüssen können nur durch die Siliertechnik beeinflusst werden.

Ziel der Untersuchungen ist deshalb die Ermittlung der notwendigen siliertechnischen Parameter, bei denen Schimmelpilzwachstum während der Silagelagerung eingeschränkt werden kann. Die Grenzbedingungen der hierbei wirksamen Einflußfaktoren Lagerungsdichte und äußere Luftabschlußgüte sind zu diesem Zweck näher zu charakterisieren. Vor allem die Wechselwirkungen zwischen den Eigenschaften des Ausgangsmaterials, wie Trockenmasse- und Rohfasergehalt sowie Vergärbarkeit und siliertechnischen Parametern sind dabei besonders zu berücksichtigen.

Schwerpunkt sind Silierversuche unter Praxis- und Laborbedingungen mit Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter, die infolge relativ hoher Rohfasergehalte besonders schwer verdichtbar sind. Die Ergebnisse werden als übertragbar auf Silagen aus konventionell erzeugtem Grünfutter angesehen. Es ist anzunehmen, daß Silagen bei geringerem Rohfasergehalt leichter verdichtbar sind.

2. Literaturübersicht

2.1 Silierung von Grünfutter

Die Hauptaufgabe der Futterkonservierung ist die Haltbarmachung von Futtermitteln wie z.B. Gras und Mais in der Vegetationszeit für eine Nutzung vorrangig während der Wintermonate und in Perioden mit eingeschränktem Pflanzenwachstum. Auf typischen Grünlandstandorten wird vorrangig Gras von Wiesen und Weiden konserviert. Die Silagebereitung dominiert dabei allgemein vor der Heuproduktion. Gründe hierfür sind vor allem die geringere Witterungsabhängigkeit der Silagebereitung und das damit verbunden geringere Risiko von Nährstoffverlusten und schlechter Futterqualität [WEISSBACH, 1993].

Bei der Silierung wird der natürliche Gärprozeß für die Konservierung genutzt. Typisch ist ein unter anaeroben Bedingungen ablaufender Stoffwechsel von Mikroorganismen, vornehmlich Milchsäurebakterien. Die Qualität der Silagen hängt vor allem von den Eigenschaften des Ausgangsmaterials wie Trockenmassegehalt, Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, Pufferkapazität und epiphytischem Mikroorganismenbesatz ab [WOOLFORD, 1984; MCDONALD et al., 1991; WEISSBACH, 1993; WEISSBACH und HONIG, 1996]. Der Quotient aus dem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WLKH) und der Pufferkapazität (PK) des Grünfutters ist ein Maß für das biologische Säuerungspotential und charakterisiert die Vergärbarkeit des Siliergutes. Durch die Gleichung:

$$T_{\min} (g / kg) = 450 - 80 \frac{WLKH}{PK}$$

kann der Mindesttrockenmassegehalt (T_{\min}) für die Erzeugung buttersäurefreier Silagen beschrieben werden [WEISSBACH et al., 1974]. Aus dieser Gleichung ableitend kann ein Vergärbarkeitskoeffizient (VK) definiert werden, wobei Siliergut mit einem Vergärbarkeitskoeffizient von mindestens 45 als leicht vergärbar gilt [WEISSBACH, 1998 und dort zitierte Literatur]:

$$VK = T(\%) + 8 \frac{WLKH}{PK}$$

Aus diesem Modell lassen sich jedoch nur bei konventionell erzeugtem bzw. nitrathaltigem Grünfutter sichere Vorhersagen für den zu erwartenden Gärungsverlauf ableiten [WEISSBACH et al., 1993]. Bei Fehlen von Nitrat im Grünfutter, was vor allem unter extensiven Produktionsbedingungen infolge eingeschränkter Stickstoffdüngung und / oder Ernte physiologisch älteren Pflanzenmaterials auftreten kann, sind Fehlgärungen auch dann möglich, wenn aufgrund der Parameter der Vergärbarkeit eigentlich stabile Silagen erwartet werden könnten [KAISER et al., 1994; KAISER und WEISS, 1997]. Als Schwellenwert des Nitratgehaltes, oberhalb dessen die Buttersäuregärung bei hinlänglichem Gärsubstratangebot ($VK > 35$) ausbleibt, gibt WEISSBACH in dem Zusammenhang 0,5 g NO_3 je kg T an [WEISSBACH, 1998]. KAISER et al. dagegen gehen bereits ab einem Gehalt von weniger als 1,0 g NO_3 je kg T von weitgehend nitratfreiem Siliergut aus und sprechen bis unterhalb 4,4 g NO_3 je kg T von relativ gering nitrathaltigem Grünfutter [KAISER et al., 1997].

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß bei diesem Modell zur Vorhersage des zu erwartenden Gärungsverlaufes anaerobe Bedingungen während der Silierung vorausgesetzt werden. Lufteinfluß während der Silagebereitung behindert die Vergärung des Siliergutes und fördert den nachträglichen Abbau von Milchsäure. Dies beeinträchtigt mehr oder weniger die Gärqualität und kann vor allem in luftbeeinflussten Silagezonen mit relativ hohen pH-Werten verbunden sein.

Der epiphytische Besatz mit Milchsäurebakterien ist nicht von vorrangiger Bedeutung. Trotz der jahreszeitlichen Schwankungen in Besatzdichte und Artenzusammensetzung der Milchsäurebakterien [NILSSON und NILSSON, 1956; WEISE und WERMKE, 1973; FEHRMANN und MÜLLER, 1990] kann nach den vorliegenden Erfahrungen zur Welksilierung bei den geforderten Welkgraden eine ausreichende Milchsäuregärung erwartet werden [HONIG und PAHLOW, 1986; SPOELSTRA und HINDLE, 1989; PAHLOW und MÜLLER, 1990; MÜLLER et al., 1991]. Eine größere Bedeutung dürfte der Kontamination des Grünfutters mit Schadkeimen wie Schimmelpilzen zuzumessen sein [OLDENBURG, 1990; OLDENBURG, 1993]. Im Pilzbesatz der Pflanzen können jahres- und jahreszeitabhängige Unterschiede auftreten. Bei zunehmendem Pflanzenalter ist jedoch generell mit stärkerer Verpilzung zu rechnen, wobei hier wahrscheinlich auch Standorteinflüsse vorliegen [MÜLLER et al., 1991; OPITZ V. BOBERFELD, 1994; OPITZ V. BOBERFELD, 1995; LANDES, 1996].

Das am meisten verbreitete Silierverfahren für Grünfutter ist die Bereitung von Anwelksilagen ohne oder mit Silierzusätzen. Grünfutter sollte auf über 300 - 350 g T/kg angewelkt werden [MCDONALD et al., 1991; WEISSBACH, 1993]. Der Zusatz von Siliermitteln ist in der Regel nur erforderlich, wenn das Gras schwer vergärbar ist und aus Witterungsgründen ein ausreichend hoher Trockenmassegehalt nicht schnell genug erreicht werden konnte (nach 1-2 Tagen Welkzeit) [KNABE et al., 1986]. Bei Ballensilagen ist ein ausreichend hoher Anwelkgrad zur Verbesserung der Silierfähigkeit zwingend notwendig [HAIGH, 1990; JONSSON et al., 1990]. Der Zusatz chemischer Siliermittel als Ausgleich eines zu geringen Trockenmassegehaltes ist bei diesen Silagen ungeeignet. Hierdurch könnte in Ballensilagen die Gärstoffbildung ausgelöst werden [HAIGH, 1994; HAIGH et al., 1996; KELLER et al., 1997]. Durch die Anwendung biologischer Siliermittel konnte die Qualität von Ballensilagen hingegen deutlich verbessert werden [JONSSON et al., 1990; NEITZ, 1993; KELLER, 1995; HAIGH et al., 1996]. Optimales Anwelken und der Zusatz von Siliermitteln können jedoch keine ausreichende Silagequalität garantieren, wenn während der Silagelagerung die anaeroben Bedingungen nicht zuverlässig erhalten bleiben [MCGECHAN, 1990].

Hauptaufgabe in der siliertechnischen Verfahrensgestaltung ist deshalb die nachhaltige Gewährleistung des Luftabschlusses. Grundlage ist hierbei die Reduzierung des Gasaustausches zwischen Siliergut und Atmosphäre auf das durch die biologischen Umsetzungen bedingte Niveau. Dies wird vor allem durch Verringerung des Porenvolumens im Futterstapel durch Verdichten erreicht. Als Einlagerungsdichte sollte bei Anwelksilagen etwa 500 - 600 kg Frischmasse/m³ angestrebt werden [KNABE et al., 1986; WEISE und RAMBUSCH, 1988; N.N., 1996]. Die erreichbare Verdichtung des Grünfutters wird dabei sowohl von den physikalisch / chemischen Mähguteigenschaften wie Rohfaser- bzw. Ligningehalt als auch den Verfahrensparametern wie Zerkleinerungsgrad und Verdich-

tungsverfahren bestimmt. Der relativ hohe Trockenmassegehalt, wie er bei der Anweilensilagebereitung allgemein vorliegt, stellt eine weitere Einflußgröße auf die Verdichtbarkeit des Siliergutes dar.

Der Rohfasergehalt steigt mit zunehmendem physiologischen Alter des Mähgutes an und kann sich vom Schossen bis zur Blüte von etwa 20 % auf über 30 % erhöhen. Rohfasergehalte von mehr als 27 % können sowohl im Horizontalsilo als auch bei Ballensilagen ein deutliches Absinken der Trockenmassedichte bewirken [UPPENKAMP, 1994]. Darüber hinaus wird mit dem Ansteigen des Trockenmassegehaltes auf über 400 g/kg insbesondere aufgrund höherer Biegesteifigkeit von Halmen und Blättern die erreichbare Lagerungsdichte geringer und das Porenvolumen steigt an [FÜRL, 1973; FÜRL, 1975; WILLIAMS, 1994]. Dadurch erhöht sich der Gasaustausch zwischen dem im Porenvolumen enthaltenen Kohlendioxid mit dem Luftsauerstoff [RETTIG, 1972; WEISE, 1978]. Hinzu kommt, daß mit zunehmendem Rohfaser- und Trockenmassegehalt die Bildung von Gärgas, das wie ein Schutzgas gegen unerwünschte aerobe Umsetzungen wirkt, geringer wird.

Einem Ansteigen des Porenvolumens kann nur mit Hilfe der Siliertechnik durch Maßnahmen wie kürzere Häcksellängen oder höhere Verdichtungsdrücke entgegengewirkt werden. Weiterhin sollten als Trockenmassegehalt des Siliergutes bei der Einlagerung in Horizontalsilos 450 g/kg und bei der Silierung in Ballen 500-550 g/kg nicht überschritten werden [UPPENKAMP, 1994]. In Horizontalsilos sollte die Silooberfläche während der Lagerung ganzflächig belastet werden. Möglichst kleine Anschnittflächen können ebenfalls zur Verringerung des Gasaustausches beitragen. Während in Horizontalsilos durch Befahren der Futterstockoberfläche mit Schleppern verdichtet wird, bestimmt bei Ballensilagen in erster Linie das angewandte Preßverfahren die Lagerungsdichte.

Bei Rundballensilagen wird im Mittel eine Lagerungsdichte von 170 - 190 kg T/m³ erreicht. Im Vergleich dazu beträgt die praxisübliche Grassilage-Lagerungsdichte in Horizontalsilos ca. 180 - 290 kg T/m³ [DARBY und JOFRIET, 1993; UPPENKAMP, 1994; N.N., 1996] und in Hochsilos ca. 300 kg T/m³ [WEISE und RAMBUSCH, 1988]. Ein neues Preßverfahren stellt die Herstellung von Compactrollen dar, die eine deutlich höhere Dichte als Rund- oder Quaderballen besitzen [MATTHIES, 1991; WESCHE, 1992]. Hierbei kann eine Grassilage-Lagerungsdichte von mehr als 300 kg T/m³ erreicht werden [SCHMERBAUCH et al., 1997a; SCHMERBAUCH et al., 1997b]. Bei der Erzeugung von Compactrollen übt von den Konstruktionsparametern der Presse der Preßraumdurchmesser den größten Einfluß auf die Dichte aus. Tendenziell wird die Dichte mit kleinerem Durchmesser größer [FÜRL et al., 1996]. Ein kleinerer Durchmesser kann prinzipiell auch bei anderen Pressenbauarten zu höherer Dichte führen. Dem stehen jedoch ökonomische Aspekte entgegen, vor allem unter dem Gesichtspunkt, Ballenpressen universell auch bei Stroh und Heu einzusetzen.

Bei Rundballensilagen, die mit Konstantkammerpressen erzeugt wurden, führt die angewandte Preßtechnik insbesondere dazu, daß der Ballenkern lockerer ist als die Randschichten. Hinzu kommt, daß Ballensilagen ein ungünstiges Verhältnis von Oberfläche zu Silagemasse aufweisen. Darüber hinaus ist der Grad der Luftfeinwirkung bzw. des Gasaustausches bei Ballensilagen auch von Temperatur- und atmosphärischen Luftdruckschwankungen abhängig [SUNDBERG und THYLÉN, 1993]. Im Ergebnis bleibt bei Rundballensilagen die Schimmelbildung oftmals nicht auf

die Randschichten beschränkt, sondern kann unter Umständen die gesamte Silage erfassen. In Silierversuchen mit Rundballen traten vollständig verschimmelte Silagen auf [PROCHNOW, 1994].

Eine gleichmäßigere Verdichtung wird bei der Verwendung von Ballenpressen mit variabler Preßkammer erzielt. Durch die bessere Verdichtung des Ballenkerns kann hierbei die Trockenmassedichte um etwa 10 % gegenüber mit Konstantkammerpressen erzeugten Silagen erhöht werden [WYSS et al., 1991a; UPPENKAMP, 1994]. Mit Hilfe von Vorschneideinrichtungen kann bei Ballenpressen durch kürzere Häcksellängen die Lagerungsdichte von Ballensilagen ebenfalls erhöht werden [KELLER et al., 1997]. Als Wickelverfahren hat sich bei der Ballensilierung das Einwickeln von Einzelballen in Stretchfolie gegenüber dem Strangwickelverfahren (Endlosschlauch-Verfahren) als vorteilhafter erwiesen [UPPENKAMP, 1994]. Beim Strangwickelverfahren sind luftgefüllte Hohlräume zwischen den einzelnen Silageballen kaum zu verhindern, was zu massivem Schimmelpilzwachstum und Fehlgärungen während der Silagelagerung führen kann [KELLER et al., 1997].

2.2 Schimmelpilzwachstum in Silagen

2.2.1 Vorkommen von Schimmelpilzen

Schimmelpilze sind aufgrund ihrer ubiquitären Verbreitung in Form von Konidien oder Mycel ein normaler Bestandteil von Nahrungs- und Futtermitteln einschließlich Silagen. Sie stellen erst dann eine Gefahr dar, wenn es infolge z.B. unsachgemäßer Lagerung zu Wachstum, Verschimmelung und Mykotoxinbildung kommt [WEIDENBÖRNER und KUNZ, 1994]. Toxinogene Pilzarten sind in Silagen verschiedener Futterpflanzen mehrfach nachgewiesen und näher untersucht worden.

PELHATE führte in drei aufeinanderfolgenden Erntejahren bei 65 Maissilagesilos (1230 Proben) mykologische Untersuchungen durch. Fusarienpilze konnten nur zu Silierbeginn in den Randzonen nachgewiesen werden. Als dominante Pilzart im Verlauf der Silierung wurde *Penicillium roqueforti* festgestellt, insgesamt in 76 % aller analysierten Proben [PELHATE, 1975; PELHATE, 1977]. In vierjährigen Untersuchungen von NOUT et al. über die Verschimmelung von Silagen aus Zuckerrübenpreßschnitzeln sowie Mais wurde als dominierende Pilzart ebenfalls *Penicillium roqueforti* festgestellt. Die Analyse der Silagen auf PR-Toxin war jedoch negativ [NOUT et al., 1993].

Von GEDEK et al. wurden 260 optisch einwandfreie Silagen umfassend auf ihren mykologischen Status hin untersucht. In 75 Proben (28,9 %) wurden jeweils mehr als 10000 Schimmelpilz-KBE/g FM nachgewiesen. Die am häufigsten festgestellten Schimmelpilzarten waren *Penicillium roqueforti* und *Aspergillus fumigatus* [GEDEK et al., 1981]. Diese Pilzarten erwiesen sich auch in den Untersuchungen von BINDER et al. als dominant in Silagen [BINDER et al., 1993].

FREVEL et al. untersuchten das Vorkommen von Schimmelpilzen in Rohmilch, Silagen und Kot und stellten bei 44 von 129 Silageproben (34,1 %) Gehalte über 10000 Schimmelpilz-KBE/g FM fest. Die am häufigsten nachgewiesenen Arten waren *Penicillium roqueforti* in 50 Proben und Vertreter der Gattungen *Mucor* und *Absidia* in 47 Proben. Von den Autoren wurde betont, daß insbe-

sondere Grassilage fast allen in den Untersuchungen festgestellten Arten gute Wachstumsbedingungen bietet [FREVEL et al., 1985]. In den Untersuchungen von AMEND und MÜLLER sowie den Arbeiten von AMEND erwies sich *Penicillium roqueforti* als hauptsächlicher Vertreter der in Silagen vorkommenden Schimmelpilzarten [AMEND und MÜLLER, 1984; AMEND, 1990]. Auch von VESELEY et al., DUTKIEWICZ et al., RICHTER und OHMOMO et al. wurde *Penicillium roqueforti* als hauptsächlicher pilzlicher Verderbniserreger in Gärfuttermitteln benannt [VESELEY et al., 1981; DUTKIEWICZ et al., 1989; RICHTER, 1993; OHMOMO et al., 1994].

ADLER untersuchte in drei aufeinanderfolgenden Winterfütterungsperioden 455 Mais- und Grassilageproben auf ihren mykologischen Status hin und stellte in 34,7 % aller Proben als dominierende Schimmelpilzart *Penicillium roqueforti* fest [ADLER, 1993]. Weitere häufig vorkommende Arten waren *Byssosclamyces nivea*, *Aspergillus glaucus* und *Monascus ruber*. Von ARMBRUSTER wurden Silagen u.a. auf ihren Gehalt an Schimmelpilzen, die Zusammensetzung der Mycoflora und das Vorkommen von Roquefortin C hin untersucht. Bei 65 von 111 Silageproben (58,6 %) wurden Gehalte über 10000 Schimmelpilz-KBE/g FM festgestellt. In Grassilagen kamen am häufigsten Vertreter der Gattung *Monascus* und in Maissilagen Vertreter der Gattungen *Penicillium* und *Mucoraceae* vor. Als insgesamt dominierende Art kam *Penicillium roqueforti* in 27 % aller Proben vor [ARMBRUSTER, 1994]. Nach AUERBACH benötigt *Penicillium roqueforti* während der Silierung nur Spuren von Sauerstoff, um seine Vermehrungsfähigkeit und Keimzahl zu erhalten und bei größerer Luftereinwirkung kann eine sprunghafte Pilzentwicklung einsetzen. Der Hemmung dieser Pilzart während der Silierung kommt deshalb besondere Bedeutung zu [AUERBACH, 1996].

2.2.2 Vorkommen von Mykotoxinen

Über Ursachen, Ausmaß und Bedingungen für das Auftreten von Mykotoxinen im Grundfutter, insbesondere in Silagen, liegen vergleichsweise wenige Informationen vor [WEBLEY et al., 1997; SCUDAMORE und LIVESEY, 1998]. Die überwiegende Zahl der publizierten Ergebnisse zur Mykotoxinforschung in Futtermitteln befaßt sich mit deren Vorkommen in Getreide und anderen Mischfutterkomponenten [JELINEK et al., 1989; WOOD, 1989; MARQUARDT und FROHLICH, 1990; MILLS, 1990; TANAKA et al., 1990; LEW, 1995; VAN EGMOND, 1995; WOLFF, 1995; SCUDAMORE und HETMANSKI, 1995; SCUDAMORE et al., 1997; PITTET, 1998]. Diese Ergebnisse können jedoch nur eingeschränkt auf Grundfutter übertragen werden.

Im Zusammenhang mit der Verpilzung des Grünfutters ist das mögliche Vorkommen von Mykotoxinen auf dem Ausgangsmaterial für die Silierung zu beachten. Bezüglich der Ursachen für das Auftreten von Mykotoxinen in Silagen ist deshalb zu unterscheiden zwischen Toxinen, die bereits auf den geernteten Futterpflanzen zum Zeitpunkt der Einlagerung vorhanden waren und dadurch in das Silo gelangen und Toxinen, die eventuell während der Lagerung der Silage gebildet werden.

Unter mitteleuropäischen Bedingungen sind auf Gräsern auch Endophyten wie *Acremonium lolii* nachweisbar, die Toxine bilden können. Hierbei sind vor allem Ergotalkaloide wie Lolitrem B von

Bedeutung, wenngleich unter hiesigen Bedingungen bisher festgestellte Konzentrationen nicht zur Auslösung klinischer Krankheitssymptome ausreichen dürften [PRESTIDGE, 1993; OLDENBURG, 1995; OLDENBURG et al., 1997]. Nach LANDES ist zunehmend auch mit Mutterkorn-Toxinen auf samentragenden Gräsern von extensiv genutztem Grünland zu rechnen [LANDES, 1996].

In Untersuchungen von ESCOULA, LEPOM und LEPOM et al. konnte eine Neubildung von Fusarientoxinen während des Silierprozesses nicht festgestellt werden, da es während des Absinkens des pH-Wertes zum Absterben der Pilzflora kam [ESCOULA, 1979; LEPOM, 1988; LEPOM et al., 1988]. DAMAGLOU et al. fanden jedoch, daß hinsichtlich des Zeitpunktes für das Absterben einzelner Fusarium-Arten deutliche Unterschiede bestehen [DAMAGLOU et al., 1984]. Unter Berücksichtigung der ausgeprägten Säuretoleranz der Schimmelpilze ist es naheliegend anzunehmen, daß der beobachtete Rückgang des Fusarienbesatzes während der Absenkung des pH-Wertes weniger auf die Säuerung zurückzuführen ist, sondern vielmehr einen Effekt des damit zugleich eintretenden Sauerstoffmangels darstellt. Die bis dahin gebildeten Fusarientoxine bleiben jedoch aufgrund ihrer hohen Stabilität im sauren Milieu in der Silage erhalten [LEPOM et al., 1990]. Bei Futteruntersuchungen in Problembetrieben stellten SCHUH und BAUMGARTNER in Gras- und Maissilagen das Mykotoxin Zearalenon sowie in Maiskornsilagen die Mykotoxine Deoxynivalenol und T-2-Toxin fest [SCHUH und BAUMGARTNER, 1988].

AUERBACH und GEISLER gelangen in ihrer Literaturobwertung über Mykotoxine im Grundfutter zu der Schlußfolgerung, daß Trichothecene und Zearalenon unter gemäßigten Klimabedingungen die am häufigsten vorkommenden Mykotoxine in Rauh- und Saffuttermitteln sind. Daneben ist aber auch mit Aflatoxin, Sterigmatocystin, Patulin, T-2-Toxin, Citrinin, Citreoviridin, Ochratoxin A, Penicillinsäure, Kojisäure und Mykophenolsäure zu rechnen [AUERBACH und GEISLER, 1992]. Nach ihren Angaben sind Vorkommen und Bedeutung der letztgenannten noch nicht voll überschaubar. Zum Auftreten toxinogener Stoffwechselprodukte von *Monascus ruber* in Silagen und über deren Bedeutung für die Tiergesundheit sind erst wenige Ergebnisse in der Literatur verfügbar [SCHNEWEIS et al., 1998].

GEDEK et al. prüften in ihren Untersuchungen das Toxinbildungsvermögen von 102 aus Silagen selektierten Pilzstämmen der Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus*. Alle *Penicillium roqueforti* - Stämme (n = 34) bildeten PR-Toxin und alle *Aspergillus fumigatus* - Stämme (n = 13) bildeten mindestens die Mykotoxine Fumitremorgen C und TR 2-Toxin [GEDEK et al., 1981]. In den Untersuchungen von SCHRÖPPEL sowie AMEND und MÜLLER wurde eine Bildung verschiedener Mykotoxine durch Aspergillusarten (*Aspergillus flavus* und *Aspergillus fumigatus*) in Silagen festgestellt, wenn dafür infolge Lufteinwirkung geeignete Bedingungen gegeben waren [SCHRÖPPEL, 1981; AMEND und MÜLLER, 1984].

COLE et al. wiesen bei aus Grundfutter isolierten *Aspergillus fumigatus* - Stämmen das Bildungsvermögen für Mykotoxine wie z.B. Fumigaclavin A und C nach [COLE et al., 1977a]. In den Untersuchungen von TÜLLER et al. wurden Maissilagen mit *Aspergillus fumigatus* kontaminiert. Nach 21 Tagen semianaerober Lagerung im Freiland konnten Mykotoxine wie z.B. Verruculogen und Fumi-

tremorgen B nachgewiesen werden [TÜLLER et al., 1995]. Zur Bildung von Ochratoxin A während der Silierung sind bisher keine Aussagen möglich [OLDENBURG, 1991].

Die Mykotoxinsynthese unter den Bedingungen der Silierung wird für den Schimmelpilz *Penicillium roqueforti* aufgrund seiner Toleranz gegenüber Gärssäuren bzw. kurzkettigen Fettsäuren und erhöhten Kohlendioxid-Gehalten angenommen [AUERBACH und GEISSLER, 1992]. Obwohl diese Pilzart sehr häufig in Silagen vorkommt [GEDEK, 1985; RICHTER, 1993], gibt es in der Literatur relativ wenige Ergebnisse zum Vorkommen von *Penicillium roqueforti* - Mykotoxinen in Silagen. Die in Silagen festgestellten Gehalte an *Penicillium roqueforti* - Mykotoxinen sind im Vergleich zu den gemessenen Gehalten an Fusarientoxinen als relativ hoch einzuschätzen [AMEND, 1990; ADLER, 1993; BINDER et al., 1993; ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996]. Durch *Penicillium roqueforti* gebildete Mykotoxine wie Patulin, PR-Toxin und Roquefortin C können jedoch auch von anderen Pilzarten gebildet werden [ORTH, 1976a; FRISVAD und FILTENBORG, 1983; ADLER, 1993].

In den Untersuchungen von MÜLLER und AMEND wurden Maissilagen mit *Penicillium roqueforti* kontaminiert und aerob bei 15°C gelagert. Nach 13, 22-27, 36 bzw. 49 Tagen waren Penicillinsäure, Patulin, Mykophenolsäure bzw. PR-Toxin erstmals nachweisbar. Die Mykotoxine, insbesondere Patulin und Penicillinsäure, wurden im Verlauf von 160 Tagen Lagerung ganz oder teilweise wieder abgebaut [MÜLLER und AMEND, 1997]. Vergleichbare Lagerungsbedingungen treten in der landwirtschaftlichen Praxis jedoch relativ selten auf. Das Mykotoxin Patulin hat sich auch in Untersuchungen weiterer Autoren als instabil in Silagen erwiesen [BINDER et al., 1993; SCHRICKER et al., 1993] oder reagiert ebenso wie PR-Toxin teilweise mit Silageinhaltsstoffen [AMEND, 1990].

Von besonderem Interesse aufgrund seiner relativen Stabilität in Silagen ist das Mykotoxin Roquefortin C [BINDER et al., 1993; ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH et al., 1998]. Dieses Mykotoxin kann von beiden *Penicillium roqueforti* - Subspezies gebildet werden [FRISVAD und THRANE, 1995]. Dagegen kann z.B. PR-Toxin nur von *Penicillium roqueforti* var. *roqueforti* (Chemotyp I) und Patulin nur von *Penicillium roqueforti* var. *cameum* (Chemotyp II) gebildet werden [FRISVAD und FILTENBORG, 1989]. Roquefortin C kann aber ebenfalls von anderen *Penicillium* - Spezies wie *Penicillium chrysogenum* [EL-BANNA et al., 1987a; EL-BANNA et al., 1987b] oder *Penicillium crustosum* [COLE et al., 1983] gebildet werden. Grassilagen aus der landwirtschaftlichen Praxis wurden bislang nur in wenigen Arbeiten auf Roquefortin C hin untersucht. ARMBRUSTER stellte hierbei in 4 von 24 Proben Gehalte im Bereich von 0,099-0,58 mg/kg T und AUERBACH in 14 von 24 Proben Gehalte im Bereich von 0,1-15,3 mg/kg T fest [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996].

Die nachträgliche Beseitigung bereits gebildeter Mykotoxine aus Silagen stellt als verfahrenstechnische Maßnahme keine geeignete Lösung dar. Die Entgiftung bereits mykotoxinbelasteter Futtermittelkomponenten ist nur in begrenztem Umfang durchführbar und erfolgt mit hohem technischen Aufwand unter Verwendung von alkalischen Chemikalienzusätzen [MÜLLER, 1983; DETZLER, 1985; BAUER et al., 1987b; GERLACH und ROBOHM, 1991; SCOTT, 1998]. Die Vermeidung von Mykotoxinen in Futtermitteln ist nur durch vorbeugende Maßnahmen zur Einschränkung von Pilzwachstum zu gewährleisten [FRANK, 1990; PARK, 1995; D'MELLO und MACDONALD, 1997].

2.2.3 Bedeutung für Mensch und Tier

Verschimmelte Silagen stellen durch die Anreicherung von allergenen Pilzsporen und Mykotoxinen ein unmittelbares Gesundheitsrisiko für alle damit in Berührung kommenden Personen dar. Hohe Pilzsporenbelastungen am Arbeitsplatz können zu mykogenen Allergien wie Schimmelpilzasthma, Bindehautentzündung, Nesselsucht, allergischem Schnupfen und Kontaktekzemen führen. Diese Erkrankungen erfordern oftmals den Berufswechsel oder zwingen zur Aufgabe der Erwerbstätigkeit [SOLLEY und HYATT, 1980; SCHACHTA und JORDE, 1989; ROTH et al., 1990; VON ESSEN et al., 1990; MCDONALD et al., 1991].

Insbesondere die Inhalation von toxinbelasteten Futtermittelstäuben kann eine akute Gefährdung für die Landwirte darstellen und zu chronischen Krankheiten führen [EMANUEL et al., 1986; RASK-ANDERSEN und MALMBERG, 1990; KOTIMAA, 1990; KOTIMAA et al., 1991; GORDON et al., 1993; LOUHELAINEN et al., 1997]. Darüber hinaus ist bei Fütterung toxischer Futtermittel infolge „carry over“ mit einer Mykotoxinbelastung der von Nutztieren gewonnenen Lebensmittel zu rechnen, wodurch Mykotoxikosen und andere schwerwiegende Erkrankungen auch beim Menschen auftreten können [HABERMEHL, 1989; OLDENBURG und BREVES, 1989; BAUER, 1990; BAUER, 1991; BAUER, 1993; REUTTER, 1990; POHLAND und WOOD, 1991; BÖHM, 1992; FINK-GREMMELS, 1994; PITT, 1994; GALTIER, 1998].

Bei Verfütterung verschimmelter und eventuell mykotoxinhaltiger Grundfuttermittel sind Gesundheit und Leistungsfähigkeit landwirtschaftlicher Nutztiere akut gefährdet. Nach GEDEK sind nach dem Erreichen der Verderbnisstufe 1 (mehr als 10000 Schimmelpilz-KBE/g FM) Beeinträchtigungen der Tiergesundheit nicht auszuschließen [GEDEK, 1973]. In Viehhaltungsbetrieben können hierdurch erhebliche wirtschaftliche Verluste entstehen [GEDEK, 1985; HABERMEHL, 1989; HÄGGBLUM, 1990; KILPATRICK, 1992; PONCELET, 1993].

Schwere allergieähnliche Reaktionen und chronische Erkrankungen treten insbesondere bei Pferden auf, die im Vergleich zu anderen Nutztierarten ein höheres Nutzungsalter erreichen [ZEITLER, 1986; WOODS et al., 1993; KAMPHUES, 1996; RADE et al., 1996; VANDENPUT et al., 1997]. Bei Schweinen beeinflussen mykotoxinhaltige Futtermittel vor allem die Trächtigkeit und können zu Aborten führen [GEDEK, 1984; EWALD, 1985; BAUER et al., 1987a; BAUER, 1988; WALDMANN, 1995]. Allgemein können verschimmelte Gärfuttermittel Stoffwechselstörungen und Vergiftungen mit Symptomen wie z.B. Verstopfung, Koliken oder Durchfall hervorrufen [ROSENBERGER, 1970].

In den Untersuchungen von SCHUH und BAUMGARTNER wurden unspezifische Fruchtbarkeitsstörungen bei Milchvieh mit Zearalenon-haltigem Grundfutter in Zusammenhang gebracht. Bei Mastvieh auftretende Durchfallerscheinungen wurden auf den Deoxynivalenol- und T-2-Gehalt der Silagen zurückgeführt. Diese Probleme konnten durch Futterumstellung behoben werden [SCHUH und BAUMGARTNER, 1988].

COLE et al. führten akute Vergiftungserscheinungen bei Rindern auf die Verschimmelung des Futters mit *Aspergillus fumigatus* und das mögliche Vorhandensein von tremorgenen Mykotoxinen

zurück [COLE et al., 1977b]. Von McCAUSLAND et al. wurden bei Rindern bei 131 von 1107 Fehlgeburten als Ursache Pilzinfektionen diagnostiziert. Als hauptsächliche Schimmelpilze wurden *Aspergillus* spp. und *Mortierella wolfii* festgestellt. Die Autoren wiesen in dem Zusammenhang insbesondere auf die Verfütterung von schlecht konservierten oder mangelhaft gelagerten Grassilagen hin [McCAUSLAND et al., 1987].

In Untersuchungen von PELHATE sowie den Arbeiten von SIEBER wurde das Auftreten von Vergiftungserscheinungen bei Wiederkäuern bis hin zum Verenden insbesondere auf die Verschimmelung des Futters mit *Penicillium roqueforti* zurückgeführt [PELHATE, 1977; SIEBER, 1978]. WEI et al., SCOTT und CHEN et al. diskutierten als Ursache für Erkrankungen bei Milchvieh das Mykotoxin PR-Toxin, welches im Grundfutter nachgewiesen werden konnte [WEI et al., 1973; SCOTT, 1981; CHEN et al., 1982]. Ähnliche Krankheitssymptome (Freßunlust, Verdauungsstörungen, Darmentzündungen, Aborte) wurden bei Milchvieh auch von VESELEY et al. beobachtet [VESELEY et al., 1981]. Die Mykotoxinanalyse des Futters (Maissilage) war hierbei negativ, es wurde jedoch *Penicillium roqueforti* festgestellt.

SCOTT sowie LE BARS und LE BARS führten Tierverluste bei Rindern bzw. Stoffwechselerkrankungen von Schafen auf die Verfütterung von verschimmelten Silagen zurück, in denen das Mykotoxin Patulin nachgewiesen werden konnte [SCOTT, 1977; LE BARS und LE BARS, 1989]. Auch von WOOLFORD wurde Patulin-haltiges Grundfutter als Ursache für Erkrankungen von Rindern benannt [WOOLFORD, 1984].

HÄGGBLOM brachte vor allem das Mykotoxin Roquefortin C in Zusammenhang mit Erkrankungen von Milchkühen. In hochgradig mit *Penicillium roqueforti* kontaminiertem Futter (siliertes Getreide) wurden Roquefortin C - Konzentrationen von etwa 25 mg/kg gemessen. Die Krankheitssymptome, insbesondere Paresis, verschwanden nach einem Futterwechsel [HÄGGBLOM et al., 1990].

Auch Vergiftungserscheinungen bei Menschen [COLE et al., 1983] und Hunden [SMITH, 1987; PULS und LADYMAN, 1988; LOWES et al., 1992] wurden auf Roquefortin C als mögliche Ursache zurückgeführt. Von seiner chemischen Struktur her ein Indol-Alkaloid, besitzt Roquefortin C vor allem neurotoxische Eigenschaften [POLONSKY et al., 1977; COLE und COX, 1981; YAMAGUCHI et al., 1991]. Die akute Toxizität und festgestellte toxikologische Wirkungen von Roquefortin C werden in der Literatur insgesamt sehr unterschiedlich und teilweise widersprüchlich angegeben.

SCOTT et al. und OHMOMO geben bei Roquefortin C für Mäuse einen LD₅₀-Wert von 15-20 bzw. 20 mg/kg Körpergewicht (intraperitoneale Applikation) an. Geringere Dosen von 10 mg/kg Körpergewicht verursachten in den Untersuchungen von SCOTT et al. Muskelkontraktionen und Gleichgewichtsstörungen [SCOTT et al., 1976; OHMOMO, 1982]. Den etwa zehnfachen LD₅₀-Wert dessen, 169-189 mg/kg Körpergewicht (intraperitoneale Applikation, Mäuse), wurde hingegen in den Untersuchungen von ARNOLD et al. ermittelt. Neurologische Krankheitssymptome wurden nicht beobachtet [ARNOLD et al., 1978]. Ein noch höherer LD₅₀-Wert bei Roquefortin C von 340 mg/kg Körpergewicht (intraperitoneale Applikation, Mäuse) wird von PITT angegeben [PITT, 1994].

SCHOCH et al. konnten bei Verfütterung von Roquefortin C - haltigem Käse an Mäuse (tägliche Dosis 0,238 mg/kg Körpergewicht) keinerlei gesundheitliche Veränderungen feststellen [SCHOCH et al., 1984]. WAGENER et al. dagegen berichten bei Verabreichung von Roquefortin C an Eintagsküken von neurologischen Symptomen (Gleichgewichtsverlust, Niedersetzen und auf die Seite neigen) bis hin zum Verenden innerhalb weniger Stunden [WAGENER et al., 1980].

Von BAUER et al. wurde ein 18tägiger Fütterungsversuch mit weiblichen Schafen unter Verwendung von Roquefortin C - kontaminierter Silage (praxisrelevante Gehalte: 0, 5 bzw. 25 mg ROF/kg Silage) durchgeführt. Bei keinem der Schafe konnte während der Versuchsperiode eine akute Intoxikation festgestellt werden. Die Toxizität von Roquefortin bei Schafen und ein eventuelles Gesundheitsrisiko für den Menschen infolge „carry over“ wurde als sehr gering eingestuft [BAUER et al., 1997]. Auch von LE BARS und LE BARS wird das toxikologische Risiko, das von Roquefortin ausgeht, als relativ gering eingeschätzt. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, daß zu möglichen Langzeiteffekten von Roquefortin keine Informationen vorliegen [LE BARS und LE BARS, 1998].

Wiederkäuer, an die Grassilagen hauptsächlich verfüttert werden, besitzen die Fähigkeit, durch ihr Pansensystem Mykotoxine in gewissem Umfang zu metabolisieren [KIESSLING et al., 1984]. Bei den von HÖLTERSHINKEN et al. durchgeführten *in vitro*-Untersuchungen (nach CHERKAWSKI, 1986) wurde Roquefortin C innerhalb von 24 h im Pansen metabolisiert [HÖLTERSHINKEN et al., 1995]. Nach BÖHM stellen Mykotoxine wie Deoxynivalenol, Zearalenon und Ochratoxin A für Wiederkäuer keine besondere Gefahr dar, da diese Toxine von der Pansenflora ab- bzw. umgebaut werden können. Bei Jungvieh mit noch nicht vollständig entwickeltem Pansensystem können diese Toxine und Toxinmetaboliten jedoch toxische Wirkungen haben [BÖHM, 1992].

2.3 Nachweis von Pilzwachstum

In der landwirtschaftlichen Praxis erfolgt die Charakterisierung des mikrobiellen bzw. mykologischen Status von Futtermitteln überwiegend sensorisch anhand äußerer Eigenschaften wie muffiger Geruch und optisch sichtbare Schimmelbildung. Die rein sensorische Beurteilung ist jedoch unsicher und erfordert eine relativ große Erfahrung des Probennehmers [SCHMIDT, 1981].

Als mikrobiologische Untersuchungsmethode zur Einschätzung der quantitativen Pilzbelastung von Futtermitteln einschließlich Silagen wird vorrangig die Bestimmung der **Pilzkeimzahl** angewandt. Hierbei wird die Anzahl koloniebildender Einheiten (KBE/g FM) mit Hilfe von Kulturverfahren wie etwa dem Oberflächenkultur-Spatelverfahren erfaßt. Die ermittelten Werte sind u.a. abhängig vom zur Keimzahlbestimmung verwendeten Nährmedium [SCHNÜRER und JONSSON, 1992].

Die Pilzkeimzahl gibt als Lebendkeimzahl nur Auskunft über die entwicklungsfähigen Einheiten zum Zeitpunkt der Probenahme, was die Interpretation erschwert. Es werden überwiegend Konidien und nur teilweise Mycelfragmente nachgewiesen. Bereits abgestorbene Pilzbiomasse (Konidien und Mycel) sowie junges, vegetatives und nicht sporulierendes Pilzmycel können nicht erfaßt werden. Wurden Futtermittel bei ihrer Herstellung und Lagerung Verfahren ausgesetzt, die zu einer

Inaktivierung von Pilzen führten (intensive Zerkleinerung, hohe Druck- und Temperatureinwirkung, Zusatz von fungizid wirksamen Substanzen), so können aus der Pilzkeimzahl nur noch bedingt verlässliche Informationen zur früheren tatsächlichen Belastung entnommen werden. Insbesondere bei mehrmonatig gelagerten Futtermitteln wie Getreide und Silagen ist die Beurteilung der Gesamtpilzbelastung allein mittels Bestimmung der Pilzkeimzahl relativ unsicher [MÜLLER et al., 1984; GOURAMA und BULLERMAN, 1995b].

Trotz ihrer eingeschränkten Aussagekraft stellt die Bestimmung der Pilzkeimzahl eine wichtige Beurteilungsgröße für den eingetretenen Verderb bei Futtermitteln dar und ist Voraussetzung für die Untersuchung bezüglich der vorkommenden Pilzgattungen und -arten [MÜLLER und LEHN, 1988].

Qualitativ werden Schimmelpilze vor allem nach makroskopischen (z.B. Koloniefarbe und -form) und mikroskopischen (z.B. Konidienform und -größe) Merkmalen hin unterschieden [RAPER und THOM, 1949; PITT, 1991; KLICH und PITT, 1992; SAMSON et al., 1995]. Zur genaueren Bestimmung der einzelnen Arten werden physiologische Eigenschaften und das Bildungsvermögen für einzelne Mykotoxine hinzugezogen [FRISVAD und FILTENBORG, 1983; FRISVAD, 1989]. Weiterhin werden in der Literatur immunologische [GOURAMA und BULLERMAN, 1995b; JAECKEL, 1995; LANDES et al., 1995; MÄRTLBAUER und BECKER, 1995; GIRARDIN, 1997], molekularbiologische [GEISEN, 1995; NIESSEN und VOGEL, 1995; SHAPIRA et al., 1996] und auch neurale [JONSSON et al., 1997] Nachweis- und Identifizierungsmethoden beschrieben.

Eine chemische Untersuchungsmethode zur Beurteilung der quantitativen Pilzbelastung von Futtermitteln stellt die Bestimmung des Gehaltes an **Ergosterin** dar [SCHWADORF, 1995]. Dieser chemische Parameter wurde bereits in unterschiedlichen Untersuchungen als Beurteilungsgröße für die Pilzentwicklung verwendet [BJURMAN, 1994; BATTILANI et al., 1996; DJAJAKIRANA und JOERGENSEN, 1996; GUNNARSSON et al., 1996; MILLER und YOUNG, 1997; RICHARDSON und LOGENDRA, 1997; SARAF et al., 1997], teilweise auch in Kombination mit dem Chitingehalt [COUSIN, 1995; GOURAMA und BULLERMAN, 1995b; EKBLAD et al., 1998].

Ergosterin wird als das wichtigste Sterin bei den meisten Pilzen angesehen und hier im Primärstoffwechsel produziert. In höheren Pflanzen kommt es nicht oder nur in Spuren vor [WEETE, 1980]. Als Zellwandbestandteil ist Ergosterin schon von Beginn des Pilzwachstums an nachweisbar und gilt als chemischer Indikator für die gebildete Pilzbiomasse [SEITZ et al., 1977; SEITZ et al., 1979; ZILL, 1988; MÜLLER und SCHWADORF, 1990]. Der Ergosteringehalt wird von Pilzart und Mycelalter nur wenig beeinflusst. Pilze, die kein Ergosterin bilden, sind als Verderbniserreger bei Futtermitteln nur von geringer oder ohne Bedeutung. Gegenüber äußeren Einflüssen bei der Lagerung und Silierung sowie einer kurzzeitigen Erhitzung auf bis zu 120°C scheint Ergosterin relativ stabil zu sein [CAHAGNIER et al., 1983; MÜLLER und SCHWADORF, 1988].

Für die nähere Charakterisierung der Gesamtpilzbelastung bei Futtermitteln bietet es sich daher an, die Bestimmung der Pilzkeimzahl durch die Ermittlung des Ergosteringehaltes zu ergänzen [NAEWBANIJ et al., 1986]. Hierdurch kann die insgesamt gebildete Pilzbiomasse, die mit der allei-

nigen Bestimmung der Pilzkeimzahl nicht nachgewiesen werden kann, quantitativ erfaßt werden. Daraus sind Schlußfolgerungen möglich, ob in dem jeweils untersuchten Futtermittel Schimmelpilzwachstum stattgefunden hat, selbst wenn dies zum Zeitpunkt der Probenahme sensorisch oder über die Höhe der Pilzkeimzahl nicht erkennbar ist. Hierbei ist zu beachten, daß ein Teil des Ergosterins von nicht-toxinogenen Hefen gebildet worden sein kann. Der Anteil des von Hefen gebildeten Ergosterins am Gesamt-Ergosteridgehalt wird in der Literatur jedoch als sehr gering eingeschätzt. In Getreide beträgt er danach generell weniger als 5 % und in Silagen schwankt er zwischen 0,001 und 5,8 % des Gesamt-Ergosteridgehaltes [SCHWADORF, 1995; AUERBACH, 1996].

Im Gegensatz zur Pilzkeimzahl, für die in der Literatur Richtwerte zur Einschätzung von Futtermitteln vorliegen [GEDEK, 1973], werden bei der Beurteilung des Ergosteridgehaltes als Maß für das Pilzwachstum nur „vorläufige Richtwerte“ genannt. Diese beziehen sich jedoch nur auf Getreide, nicht auf Silagen [MÜLLER und LEHN, 1988; SCHNEIDER, 1994]. Inwieweit der Ergosteridgehalt von Futtermitteln einschließlich Silagen darüber hinaus Rückschlüsse auf eine eventuelle Kontamination mit Mykotoxinen erlaubt, ist aufgrund der wenigen dazu vorliegenden Ergebnisse bislang nicht einschätzbar [THALMANN, 1990; MÜLLER et al., 1994]. Bei Lufteinfluß vor allem zu Beginn aber auch während der Silierung kann es z.B. zu starkem Wachstum von nicht-toxinogenen Schimmelpilzen wie *Mucor* - und *Geotrichum* - Arten kommen [AUERBACH, 1996]. Dadurch hervorgerufener Futtermittelverderb und Ergosterinanstieg führen nicht zwangsläufig zu einer Mykotoxinbildung in den Silagen. Allgemein ist jedoch bei nachgewiesenem Schimmelpilzbefall immer mit dem Risiko einer Mykotoxinkontamination zu rechnen.

Zur Analyse von Ergosterin werden in der Literatur unterschiedliche Methoden beschrieben. Die Mehrzahl hiervon wurde für Getreide entwickelt [SEITZ et al., 1977; NAEWBANIJ et al., 1984; ZILL et al., 1988; SASHIDHAR RAO et al., 1989; VDLUFA, 1993; SCHWADORF, 1995; GESSNER und SCHMITT, 1996; LAMACKA und SAJBIDOR, 1997]. Für die Ergosterinbestimmung in Grassilagen steht in der Literatur keine eigenständige Methode zur Verfügung. In den wenigen Arbeiten mit Ergosterinbestimmungen in Silagen wurde die von SCHWADORF und MÜLLER für Getreide und Mischfuttermittel beschriebene Methode angewandt [DERST, 1989; SCHWADORF und MÜLLER, 1989; SCHWADORF, 1995; AUERBACH, 1996].

Bei der Analyse von Mykotoxinen in Nahrungs- und Futtermitteln werden vor allem biologische, physikalisch-chemische und immunochemische Untersuchungsmethoden unterschieden [COLE, 1986; IKINS, 1991; SHARMA und SALUNKHE, 1991; CHU, 1995; SCOTT, 1995]. Biologische und immunochemische Methoden werden häufig als Screening-Verfahren eingesetzt, wobei physikalisch-chemische Methoden hierbei oft als Referenzmethoden herangezogen werden [GAREIS et al., 1985; MÜLLER et al., 1987; BAUER und GAREIS, 1989; GILBERT, 1993; RICHARD et al., 1993; SCOTT, 1993]. Der Nachweis des Mykotoxins Roquefortin C wird überwiegend mit physikalisch-chemischen Analysenmethoden durchgeführt [WARE et al., 1980; MANTLE et al., 1983; OHMOMO et al., 1994; BRASELTON und RUMLER, 1996]. Für die Roquefortin C - Bestimmung in Silagen wurde erstmals von ARMBRUSTER eine Methode entwickelt [ARMBRUSTER, 1994].

2.4 Einflußfaktoren auf das Pilzwachstum

Schimmelpilze sind ubiquitär im Boden und auf den Pflanzen verbreitet. Wachstum, Schimmel- und Mykotoxinbildung der Mycoflora in den jeweiligen Nahrungs- oder Futtermitteln resultiert aus den Wechselbeziehungen der vorliegenden Schimmelpilzarten, der Substratzusammensetzung und den vorherrschenden Umweltbedingungen [REIß, 1986; BETINA, 1989; LACEY, 1989].

Im Hinblick auf äußere Einflußfaktoren (Temperatur, a_w -Wert, pH-Wert, Sauerstoff- und Kohlendioxid-Gehalt) ist das Schimmelpilzwachstum in einem relativ weiten Bereich möglich [BÖHM, 1989; FRISVAD und SAMSON, 1991; WEIDENBÖRNER und KUNZ, 1994]. Die Mykotoxinbildung erfolgt im Vergleich dazu unter enger gefaßten Bedingungen [PARK und BULLERMAN, 1983; MAGAN et al., 1984; THALMANN, 1989; OMINSKI et al., 1994; FRISVAD und THRANE, 1995]. Bedeutsam für Wachstum und Mykotoxinbildung ist ebenso die jeweilige mikrobielle Begleitflora [CUERO et al., 1987; MISAGHI et al., 1995; NOUT, 1995; MARIN et al., 1998a].

Das komplexe Einwirken von biotischen und abiotischen Umweltfaktoren, die Wachstum und Mykotoxinbildung von Schimmelpilzen beeinflussen können, ist in Abb. 1 dargestellt. Wesentliche Einflußfaktoren auf die Schimmelpilzentwicklung in Silagen werden nachfolgend beschrieben.

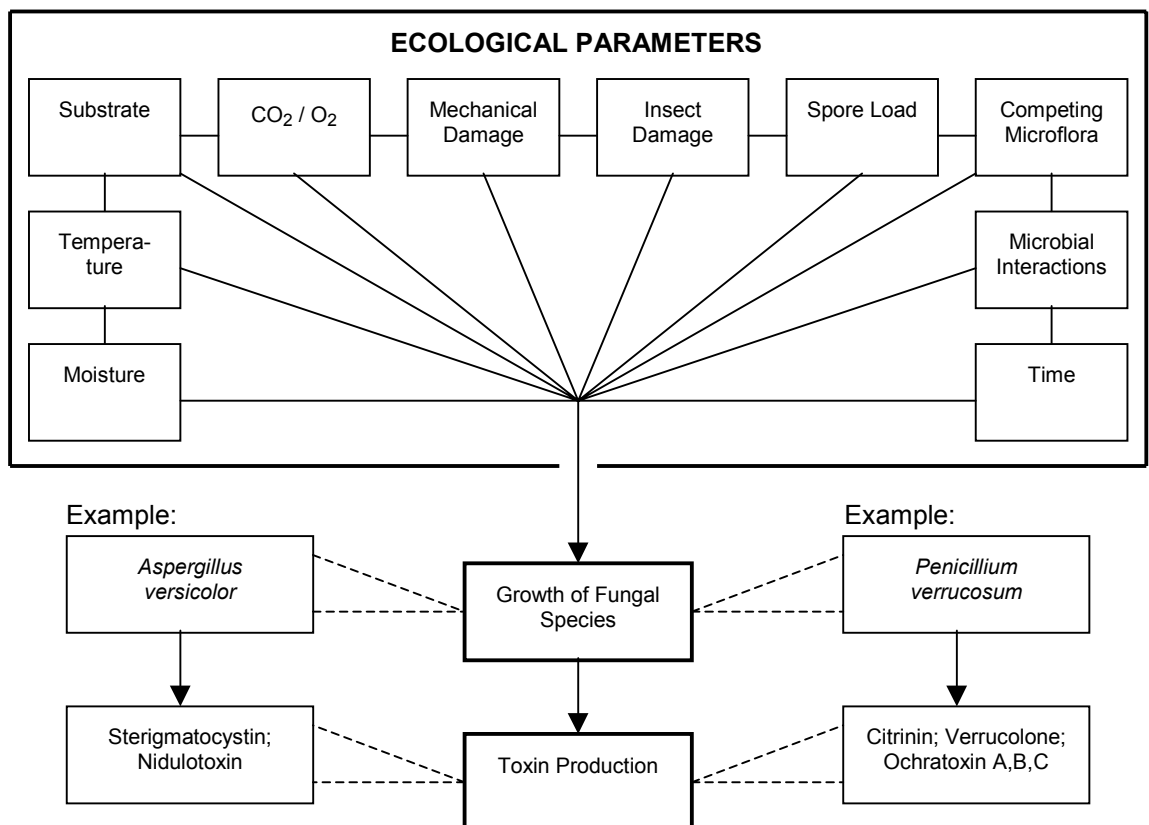


Abb. 1: Ökologische Parameter für Pilzwachstum und Mykotoxinbildung [OMINSKI et al., 1994]

Temperatur:

Die Temperatur beeinflusst sowohl das Pilzwachstum als auch die Mykotoxinbildung [CUERO et al., 1987]. Die einzelnen Schimmelpilzgattungen und -arten haben jedoch unterschiedliche Ansprüche. Bereits bei -10 bis +5°C beginnen verschiedene *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. und *Fusarium* spp. zu wachsen, u.a. *Penicillium glabrum* und *Penicillium roqueforti* [MISLIVEC und TUIE, 1970; PITT und HOCKING, 1985]. *Aspergillus* spp. bevorzugen meist höhere Temperaturen [APINIS, 1972; KRÄMER, 1992; MARIN et al., 1998b]. Der Wachstumsbereich des in Silagen dominierenden Schimmelpilzes *Penicillium roqueforti* wird von LACEY und MAGAN mit < 5 - 35°C bei einem Optimum von 25°C angegeben [LACEY und MAGAN, 1991]. Abgesehen von den Wintermonaten mit Temperaturen im Bereich des Gefrierpunktes wird das Schimmelpilzwachstum in Silagen durch den Faktor Temperatur kaum begrenzt. In bezug auf die Mykotoxinbildung werden in der Literatur artspezifische Unterschiede hinsichtlich Temperaturbereich und -optimum sowie der Einfluß von zyklischen Temperaturschwankungen auf die Höhe der Mykotoxinbildung beschrieben [LOVETT und THOMPSON, 1978; PARK und BULLERMAN, 1981; PARK und BULLERMAN, 1983]. Bei niedrigen Temperaturen kann infolge eingeschränkten Wachstums allgemein von einer geringeren Mykotoxinsynthese ausgegangen werden [FRISVAD und SAMSON, 1991].

Substratfeuchte bzw. Wasseraktivität (a_w -Wert) des Substrates:

In Wechselwirkung mit anderen Faktoren wie Temperatur, chemischen Substrateigenschaften und pH-Wert übt die Substratfeuchte bzw. die Wasseraktivität einen relativ starken Einfluß auf Wachstum und Toxinbildung von Schimmelpilzen aus [NORTHOLT et al., 1979b; MAGAN und LACEY, 1984b; BOLEY, 1988; RAMAKRISHNA et al., 1993; COMERIO et al., 1998]. Lagerpilze, insbesondere *Aspergillus* und *Penicillium*-Species, können ab einem Feuchtegehalt des Substrates von 13-18 % wachsen [LILLEHOJ und ELLING, 1983]. Das im Substrat vorhandene Wasser steht jedoch aufgrund von chemischen und physikalischen Bindungen nicht in vollem Umfang für den pilzlichen Stoffwechsel zur Verfügung. Alternativ zur Substratfeuchte werden die mikrobiellen Entwicklungsbedingungen daher vorwiegend durch die Angabe der Wasseraktivität (a_w -Wert) charakterisiert.

Der a_w -Wert ist ein Ausdruck für das Verhältnis von Wasserdampfdruck über dem Substrat (Futtermittel) zum Dampfdruck von reinem Wasser bei gleicher Umgebungstemperatur und Luftdruck [PITT und HOCKING, 1985]. Er gibt den frei verfügbaren Wassergehalt im jeweiligen Substrat an. Die meisten Substrat-„Lösungen“ wie Grünfutter, Silagen und Heu verhalten sich nicht ideal. Die Wasseraktivität kann hier bei definierter Temperatur numerisch mit der relativen Luftfeuchte gleichgesetzt und aus der Sorptionsisotherme des Substrates berechnet werden [BEUCHAT, 1987a].

Wie alle Mikroorganismen besitzen Schimmelpilze hinsichtlich des a_w -Wertes ein Minimum, ein Optimum und ein Maximum für ihr Wachstum. Je geringer der a_w -Wert, desto weniger Wasser steht für den Pilzstoffwechsel zur Verfügung. Für die meisten Schimmelpilzarten wurden spezifische a_w -Werte ermittelt [LACEY und MAGAN, 1991]. Wird der charakteristische Minimal- a_w -Wert einer Pilzart unterschritten, kann diese dann auf dem jeweiligen Substrat nicht mehr wachsen

[BEUCHAT, 1987b; MARIN et al., 1998b]. Sporenkeimung, Mycelwachstum und Sporenbildung werden in unterschiedlicher Weise durch den a_W -Wert beeinflusst. Viele Schimmelpilzarten benötigen für jedes Wachstumsstadium einen anderen Minimal- a_W -Wert [REIß, 1986]. Diese Unterschiede wurden bei *Penicillium roqueforti* nicht beobachtet [LACEY und MAGAN, 1991].

Schimmelpilze mit einem Minimal- a_W -Wert unter 0,85 werden als mäßig xerophil bezeichnet [WEIDENBÖRNER und KUNZ, 1994]. Hierzu gehören die meisten Vertreter der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium*, u.a. auch *Penicillium roqueforti*, dessen Minimal- a_W -Wert mit 0,83 angegeben wird [FRISVAD und SAMSON, 1991]. Schimmelpilze, die auch bei relativ niedrigen a_W -Werten wachsen können, wie z.B. *Aspergillus restrictus* und *Eurotium* - Arten (z.B. *Aspergillus glaucus*), gelten als xerophil und sind bedeutende Schaderreger bei der Getreidelagerung. Typische Feldpilze wie z.B. *Fusarium*-Arten benötigen zumeist a_W -Werte über 0,85 und können aus diesem Grund unter den Bedingungen einer Trockenlagerung (Getreide, Heu) nicht wachsen [MAGAN und LACEY, 1984b; BEUCHAT, 1987a]. Der Trockenmassegehalt von Silagen überschreitet in der Regel nur selten 60-70 %, weshalb hinsichtlich des hier vorliegenden a_W -Wertes von mindestens 0,90 immer von guten Bedingungen für das Wachstum der meisten Schimmelpilzarten ausgegangen werden kann [OLDENBURG und BREVES, 1989; AUERBACH, 1996].

Bemerkenswert ist, daß einzelne Stoffwechselleistungen wie die Mykotoxinbildung im Vergleich zum Pilzwachstum an höhere Minimal- a_W -Werte gebunden sein können [MAGAN et al., 1984; CUERO et al., 1988; LACEY, 1989; FRISVAD, 1991; LACEY und MAGAN, 1991; OMINSKI et al., 1994; MOSS, 1996]. Von NORTHOLT et al. wurden in mehreren Untersuchungen Wachstum und Toxinbildung verschiedener Schimmelpilzarten in Abhängigkeit von Temperatur und a_W -Wert analysiert [NORTHOLT et al., 1977; NORTHOLT et al., 1979b]. Der Minimal- a_W -Wert für die Mykotoxinbildung lag bei den getesteten Pilzarten *Aspergillus clavatus* und *Aspergillus ochraceus* sowie *Penicillium cyclopium*, *Penicillium expansum* und *Penicillium patulum* durchschnittlich um 1,0-1,2 Punkte höher als der Minimal- a_W -Wert für das Wachstum [NORTHOLT et al., 1978; NORTHOLT et al., 1979a]. Die Ergebnisse von NORTHOLT et al. sind in Abb. 2 schematisch dargestellt.

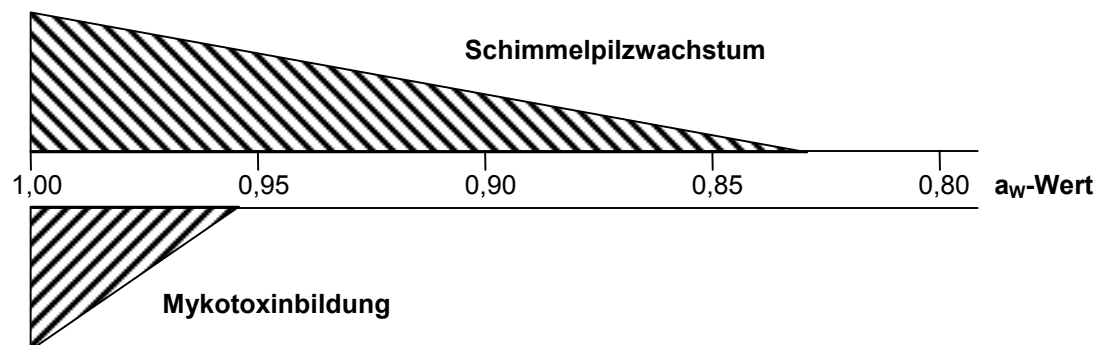


Abb. 2: Einfluß des a_W -Wertes auf Wachstum und Mykotoxinbildung ausgewählter Schimmelpilzarten [nach Ergebnissen von NORTHOLT et al., 1978; NORTHOLT et al., 1979a]

Chemische Zusammensetzung und pH-Wert des Substrates:

Für Schimmelpilze als C-heterotrophe Mikroorganismen sind vor allem Monosaccharide als Universal-C-Quelle, aber auch Maltose und Saccharose von Bedeutung. Höher molekulare Verbindungen wie Lipide sowie Proteine, Stärke und Pektin können ebenfalls im Stoffwechsel genutzt werden. Cellulose und Lignin werden nur selten abgebaut [REIß, 1986; BÖHM, 1989]. Kohlenhydratreiche Futtermittel sind in der Regel stärker von Schimmelpilzwachstum und Mykotoxinbildung betroffen als eiweißreiche Futtermittel, wie z.B. Leguminosen [THALMANN, 1989].

Einige Schimmelpilzarten sind in der Lage, auch organische Säuren wie z.B. Milch-, Essig- und Propionsäure als C-Quellen zu nutzen. Diese Fähigkeit wurde vor allem bei *Aspergillus*- und *Penicillium* - Arten beobachtet [LORD et al., 1981a; MÜLLER et al., 1985], u.a. auch bei *Penicillium roqueforti* [MÜLLER und HÖRBER, 1982; VIVIER et al., 1992; AUERBACH, 1996]. Von den natürlichen Gärprodukten in Silagen besitzt Essig- neben Buttersäure die stärksten antimykotischen Eigenschaften, wobei die Buttersäurebildung als Gärprozeß jedoch unerwünscht ist [MOON, 1983].

Organische Säuren, insbesondere Propionsäure, werden häufig bei Futtermitteln wie Getreide, Silagen und Heu als Zusatz gegen Schimmelpilze eingesetzt [MÜLLER et al., 1985; MAGAN und LACEY, 1986; LÄTTEMÄE und LINGVALL, 1996]. In Silagen und bei besonders widerstandsfähigen Pilzarten wie *Penicillium roqueforti* wird in der Literatur der Zusatz von Na-Benzoesäure empfohlen [AUERBACH, 1996; LÄTTEMÄE und LINGVALL, 1996]. Wenn Zusätze wie Propionsäure jedoch von bestimmten Pilzarten metabolisiert werden, können auch empfindlichere Pilzarten mit ihrem Wachstum beginnen [BURRELL et al., 1973; LORD et al., 1981a; MÜLLER et al., 1985]. Dieser Effekt wurde vor allem bei Verwendung organischer Säuren in unzureichender Konzentration bzw. mangelhafter Verteilung beobachtet. Hier wurde neben selektivem Pilzwachstum auch ein stimulierender Effekt auf die Toxinbildung festgestellt [AL-HILLI und SMITH, 1979; KIESSLING et al., 1982; NORREGAARD et al., 1984; RUSUL, et al., 1987; CLEVSTRÖM et al., 1989]. Heu- und Silageballen sind dabei besonders gefährdet [LORD et al., 1981b; JONSSON et al., 1990].

Werden diese Säuren in der richtigen Konzentration zugesetzt, beruht ihre pilzhemmende Wirkung vor allem auf dem vom pH-Wert abhängigen undissoziierten Anteil. Die undissoziierten Moleküle können durch die lipidhaltige Membran in die Zelle eindringen und führen hier zu einer Blockierung von Enzymen oder für den Pilz negativen Reaktionen mit Inhaltsstoffen oder Zellmembranen [KRÄMER, 1992]. Bezüglich der mindestens notwendigen Hemmstoffkonzentration bestehen nach LÜCK teilweise deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Pilzgattungen und -arten [LÜCK, 1985].

Die meisten Schimmelpilze können in einem pH-Bereich von pH 2,5 bis pH 9,5 wachsen [BÖHM, 1989; WEIDENBÖRNER und KUNZ, 1994]. Das Optimum liegt im schwach sauren Milieu zwischen pH 4,5 und pH 6,5. Der Minimalwert, bei dem einige Arten noch wachsen können, wird mit pH 1,5 und der Maximalwert mit pH 10,5 angegeben [PANASENKO, 1967; THALMANN, 1989]. Schimmelpilze sind in der Lage, durch das Ausscheiden von Stoffwechselprodukten den pH-Wert ihres Substrates zu verändern bzw. ihren Erfordernissen anzupassen [REIß, 1986].

Die Mykotoxinbildung ist im Gegensatz zum Wachstum häufig nur in einem ganz bestimmten engen pH-Bereich möglich. Oft haben Wachstum und Mykotoxinbildung unterschiedliche pH-Optima [SCHRÖPPEL, 1981; REIß, 1986; THALMANN, 1989; FRISVAD und SAMSON, 1991]. Auf *Penicillium roqueforti* trifft dies nach Angaben in der Literatur nicht zu. Für diese Pilzart wird pH 5,5 (auf YES-Agar) als Optimum für Wachstum und Toxinbildung (PR-Toxin) angegeben. Im Bereich von pH 4,5 bis pH 9,0 konnte eine Bildung von PR-Toxin festgestellt werden [POLONELLI et al., 1978].

Der pH-Wert beeinflusst temperaturabhängig den Minimal- a_w -Wert von Feld- und Lagerpilzen. Von MAGAN und LACEY konnte in Weizenextrakt-Agar durch die Absenkung von pH 6,5 auf pH 4 der für die Sporenkeimung notwendige Minimal- a_w -Wert bei optimaler Temperatur um 0,02 und bei suboptimaler Temperatur um 0,05 Punkte erhöht werden [MAGAN und LACEY, 1984a].

Sauerstoff- und Kohlendioxid-Gehalt der Umgebung:

Hinsichtlich der Bedingungen für das Schimmelpilzwachstum in Silagen kommt der Gaszusammensetzung der Atmosphäre die größte Bedeutung als Einflußfaktor zu. Temperatur, Wasseraktivität (a_w -Wert), chemische Substrateigenschaften sowie der pH-Wert von Silagen bieten in der Regel gute Voraussetzungen für die Schimmelpilzentwicklung [OLDENBURG und BREVES, 1989].

Schimmelpilze sind überwiegend obligat aerob [REIß, 1986]. Die Ansprüche der einzelnen Pilzarten an die Gaszusammensetzung der Atmosphäre sind jedoch sehr unterschiedlich [LACEY, 1989]. Der Gehalt an Sauerstoff und Kohlendioxid übt entscheidenden Einfluß auf Wachstum und Toxinbildungsvermögen aus. Hierbei ist vor allem die im Substrat gelöste Menge an Sauerstoff von Bedeutung [HOCKING, 1988].

BOTTOMLEY et al. untersuchten Auswirkungen des Sauerstoffgehaltes der Atmosphäre auf das pilzliche Wachstum. Mit abnehmendem Sauerstoffgehalt verringerten sich die Pilzkeimzahlen artspezifisch unterschiedlich stark und es kam letztendlich bei den meisten Schimmelpilzarten zur vollständigen Wachstumsunterdrückung. Bei *Penicillium* - Arten wurde jedoch eine hohe Toleranz gegenüber einem niedrigen Sauerstoffgehalt festgestellt [BOTTOMLEY et al., 1950].

In den Untersuchungen von GOLDING wurde ab einem Kohlendioxidgehalt von mehr als 15 % das Wachstum der meisten *Aspergillus* - und *Penicillium* - Arten unterdrückt, während geringere Konzentrationen stimulierend auf das Wachstum wirkten [GOLDING, 1940; GOLDING, 1945]. Hohe Kohlendioxid- und niedrige Sauerstoffgehalte führten bei Schimmelpilzarten wie *Penicillium aurantio-griseum* [LILLEHOJ et al., 1972], *Aspergillus ochraceus* [PASTER et al., 1983] oder *Aspergillus parasiticus* [SHIH und MARTH, 1973] zur Unterbindung von Wachstum und Mykotoxinbildung.

Im Gegensatz dazu konnten *Penicillium roqueforti* und *Byssosclamyces nivea* noch bei einem Kohlendioxidgehalt von 80-90 % signifikant wachsen [GOLDING, 1945; YATES et al., 1967]. Nach Angaben von MOREAU kann *Penicillium roqueforti* bis zu einem Kohlendioxidgehalt von 80 % wachsen, wenn noch 4-5 % Sauerstoff vorhanden sind [MOREAU, 1980]. Nach ORTH, RICE und LACEY benötigen Schimmelpilze für das Wachstum und die Toxinbildung nur geringe Mengen an

Sauerstoff [ORTH, 1976b; RICE, 1980; LACEY, 1989]. Für *Penicillium roqueforti* wird als mindestens erforderliche Konzentration 1 % Sauerstoff angegeben [LACEY und MAGAN, 1991].

LANDERS et al. untersuchten das Wachstum und die Toxinbildung von *Aspergillus flavus* bei unterschiedlicher Gaszusammensetzung der Atmosphäre. Bei den Mischungsverhältnissen 1 % Sauerstoff / 99 % Stickstoff sowie 1 % Sauerstoff / 79 % Stickstoff / 20 % Kohlendioxid wurden fast keine Effekte festgestellt. Bei 1 % Sauerstoff / 19 % Stickstoff / 80 % Kohlendioxid dagegen konnten das Wachstum und die Toxinbildung unterbunden werden. Die Autoren schlußfolgerten, daß das Schimmelpilzwachstum und die Mykotoxinbildung mehr durch hohe Kohlendioxid-, als durch hohe Stickstoff- und niedrige Sauerstoffkonzentrationen beeinflußt werden [LANDERS et al., 1967].

Schimmelpilze reagieren mit ihrer Mykotoxinbildung in der Regel sensibler als mit ihrem Wachstum auf die Gaszusammensetzung der Atmosphäre [REIß, 1986]. In den Untersuchungen von PASTER et al. wurde die Bildung von Ochratoxin A durch *Aspergillus ochraceus* ab einer Konzentration von 30 % Kohlendioxid eingestellt, relativ unabhängig von der Höhe der Sauerstoffkonzentration. Das Wachstum des Schimmelpilzes konnte jedoch erst durch Steigerung der Kohlendioxidkonzentration auf 80 % unterbunden werden. Bei Absinken der Kohlendioxidkonzentration unter 30 % wurde die Mykotoxinbildung unvermindert wieder aufgenommen [PASTER et al., 1983].

In der Literatur wird jedoch davon ausgegangen, daß z.B. in Getreidelagern hohe Konzentrationen von Kohlendioxid oder Stickstoff Schimmelpilzwachstum und Mykotoxinbildung nicht grundsätzlich ausschließen können [ORTH, 1976b; COLE et al., 1983; REIß, 1986; LACEY, 1989; LACEY und MAGAN, 1991]. ESCOULA und HENRY sowie RICE beobachteten z.B. bei *Byssochlamys nivea* unter nahezu anaeroben Bedingungen Wachstum und Toxinbildung [ESCOULA und HENRY, 1975; RICE, 1980]. Pilzarten wie *Mucor plumbeus*, *Penicillium glabrum* oder *Fusarium oxysporum* konnten in einer reinen Stickstoffatmosphäre auskeimen und wachsen [HOCKING, 1988].

Nach MAGAN und LACEY üben der a_w -Wert und die Temperatur großen Einfluß auf das Toleranzvermögen von Schimmelpilzen gegenüber hohen Kohlendioxid- bzw. niedrigen Sauerstoffkonzentrationen aus [MAGAN und LACEY, 1984b; MAGAN und LACEY, 1984c]. PETERSSON und SCHNÜRER verweisen auf Wechselwirkungen mit der konkurrierenden Mikroflora, die durch den Verbrauch von Sauerstoff und die Freisetzung von Kohlendioxid das Wachstum und die Toxinbildung von Schimmelpilzen beeinflussen können [PETERSSON und SCHNÜRER, 1995].

PASTER und BULLERMAN gehen davon aus, daß bei den meisten Futtermitteln durch eine sehr geringe Sauerstoffkonzentration ($< 1\%$) und / oder die Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration ein wirksamer Schutz gegenüber Schimmelpilzwachstum und Mykotoxinsynthese erreicht werden kann [PASTER und BULLERMAN, 1988].

Allgemein verdeutlichen die Ergebnisse in der Literatur die Notwendigkeit, Kohlendioxid als Schutzgas gegen Pilzwachstum und Toxinbildung in möglichst hoher Konzentration während der gesamten Lagerung von Silagen im Horizontsilo bzw. in den Silageballen zu halten.

Mikrobielle Konkurrenz:

Die Mikroflora von Futtermitteln einschließlich Silagen besteht in der Regel aus vielen verschiedenen Mikroorganismen mit den unterschiedlichsten Ansprüchen an ihren Lebensraum [PAHLOW, 1991]. Vor allem in Konkurrenz um das Substrat beeinflussen sich verschiedene Schimmelpilzarten untereinander in ihrem Wachstum und einzelnen Stoffwechselfunktionen wie der Mykotoxinbildung [MAGAN und LACEY, 1985; CUERO et al., 1988; LACEY, 1989; RAMAKRISHNA et al., 1993]. In Untersuchungen mehrerer Autoren wurde z.B. festgestellt, daß *Aspergillus niger* die Mykotoxinbildung von *Aspergillus flavus* stark einschränken kann. Die Autoren gaben an, daß offenbar Stoffwechselprodukte von *Aspergillus niger* für diesen Effekt verantwortlich sind [BEAN und MACFALL, 1982; HORN und WICKLOW, 1983; PASTER et al., 1992]. Von LACEY und MAGAN wird für *Penicillium roqueforti* eine stark antagonistische Wirkung *in vitro* gegenüber *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aurantiogriseum* und *Penicillium piceum* angegeben [LACEY und MAGAN, 1991].

Von der mikrobiellen Begleitflora (nicht-toxinogene Schimmelpilze, Hefen und andere Mikroorganismen) können ebenfalls sowohl hemmende als auch stimulierende Effekte auf Wachstum und Mykotoxinbildung ausgehen [MISAGHI et al., 1995; NOUT, 1995; LAINE et al., 1996]. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung dieser Mikroflora und im Komplex mit dem Einfluß von abiotischen Umweltfaktoren können toxinogene Schimmelpilzarten hierbei ganz oder teilweise im Wachstum unterdrückt bzw. in ihrer Mykotoxinbildung eingeschränkt werden [CUERO et al., 1987; LACEY und MAGAN, 1991; MARIN et al., 1998a]. So wurde z.B. durch den Hefepilz *Pichia guilliermondii* das Wachstum von *Penicillium digitatum* auf Grapefruits [DROBY et al., 1989], das Wachstum von *Penicillium expansum* auf Äpfeln [PETERSSON und SCHNÜRER, 1995] und das Wachstum von *Aspergillus flavus* auf Sojabohnen [PASTER et al., 1993] unterdrückt.

BJÖRNBERG und SCHNÜRER stellten *in vitro* bei dem Hefepilz *Pichia anomala* antagonistische Eigenschaften gegenüber *Penicillium roqueforti* und *Aspergillus candidus* fest [BJÖRNBERG und SCHNÜRER, 1993]. *Pichia anomala* wird regelmäßig aus luftdicht gelagertem Getreide isoliert [LACEY und MAGAN, 1991]. In den Untersuchungen von PETERSSON und SCHNÜRER konnte insbesondere durch die Hefepilze *Pichia anomala* und *Pichia guilliermondii* das Wachstum verschiedener Schimmelpilzarten auf Malzextrakt-Agar und in unsterilem, hochfeuchten Weizen eingeschränkt werden. Hierbei übte *Pichia anomala* eine stark unterdrückende Wirkung auf Sporenkeimung und Wachstum von *Penicillium roqueforti* aus, währenddessen *Penicillium italicum* und *Penicillium digitatum* nahezu resistent gegenüber diesem Hefepilz waren. Die Autoren beobachteten auch eine Stimulierung von Milchsäurebakterien durch *Pichia anomala* und wiesen in dem Zusammenhang auf synergistische Effekte als mögliche Ursache für die starke Hemmung von *Penicillium roqueforti* hin [PETERSSON und SCHNÜRER, 1995].

Die Wirksamkeit von Milchsäurebakterien gegenüber Schimmelpilzen ist in der Literatur umstritten [BULLERMAN, 1981; WISEMAN und MARTH, 1981; TANTAOUI-ELARAKI et al., 1984; SCOTT, 1989; WITTENBERG et al., 1991]. Informationen zur Einschränkung von Wachstum und Mykotoxinbildung sind nur in relativ geringem Umfang verfügbar [KARUNARATNE et al., 1990; SUZUKI et

al., 1991; RAY und DAESCHEL, 1992; GOURAMA und BULLERMAN, 1995a]. Von einem Milchsäurebakterienzusatz (zumeist anaerobe Lactobakterien) zu Silagen in Horizontalsilos und insbesondere Silageballen kann grundsätzlich nur dann eine hemmende Wirkung auf Schimmelpilze erwartet werden, wenn anerkannte siliertechnische Grundsätze wie die Wahrung anaerober Bedingungen von Beginn der Lagerung an beachtet werden [HOMBURG, 1985; JONSSON et al., 1990; KELLER, 1995; KELLER et al., 1997].

2.5 Schlußfolgerungen

In der Literatur wird *Penicillium roqueforti* als die in Silagen häufig dominierende Schimmelpilzart angesehen. Unter überwiegend anaeroben Bedingungen, von denen bei der Silierung ausgegangen wird, kann vor allem ein Risiko für die Mykotoxinbildung durch diesen Schimmelpilz bestehen. Das Mykotoxin Roquefortin C verdient aufgrund seiner Stabilität in Silagen besondere Beachtung. Bei Luftzutritt zu Silagen, insbesondere in Silorandschichten, ist jedoch mit dem Wachstum einer Vielzahl weiterer Pilzarten und dem Auftreten anderer Mykotoxine zu rechnen [SCHRÖPPEL, 1981; LEPOM und KLOSS, 1988; BAATH et al., 1990; AUERBACH, 1996]. In der Praxis ist ein Verschimmeln von Silorandschichten, meist verbunden mit nachfolgenden weiteren Verderbvorgängen, eine weit verbreitete Erscheinung. Derartige Prozesse treten insbesondere in Ballensilagen auf [KELLER, 1995].

Die möglichen verfahrensbedingten Ursachen von Schimmelpilzwachstum erstrecken sich vor allem auf den Einflußkomplex, der für die Gewährleistung des Luftabschlusses von Bedeutung ist. Der Sauerstoffanteil im Silo ist abhängig vom Umfang des Gasaustausches, der von Porenvolumen, Temperatur und äußerem Luftabschluß bestimmt wird, sowie von der Bildung von Gärgasen. Das Porenvolumen bzw. die Lagerungsdichte wird beeinflusst durch Trockenmasse- und Rohfasergehalt der Pflanzen, Verdichtungsdruck und Häcksellänge [MÜLLER, 1969]. Schlußfolgernd ist von Maßnahmen zur Verringerung des Gasaustausches (höherer Verdichtungsdruck, Siliergutzerkleinerung, höhere Folienlagenzahl) eine Einschränkung von Pilzbefall in den Silagen zu erwarten. Nach dem gegenwärtigen Wissensstand ist nicht bekannt, inwieweit bei der Silierung von extensiv erzeugtem Grünfutter durch siliertechnische Maßnahmen ein ausreichender Luftabschluß zur Einschränkung von Schimmelpilzwachstum während der Silagelagerung gewährleistet werden kann.

Insbesondere liegen keine Kenntnisse darüber vor, welcher Verdichtungsgrad in derartigem Material in Abhängigkeit von der äußeren Luftabschlußgüte durch Folienzudeckung erforderlich ist. Offen ist auch die Frage, ob die besonderen Schwierigkeiten bei der Silagebereitung auf spezielle Mähguteigenschaften zurückzuführen sind und das Schimmelpilzwachstum dabei von Anwelkgrad und jahreszeitlichem Siliertermin beeinflusst wird. Darüber hinaus ist bisher nicht bekannt, inwieweit durch siliertechnische Maßnahmen Wachstum und Toxinbildung von Schimmelpilzen wie *Penicillium roqueforti* eingeschränkt werden kann. Bei zuverlässiger Einschränkung derart widerstandsfähiger Schimmelpilzarten durch siliertechnische Maßnahmen könnte die Notwendigkeit des Einsatzes antimykotisch wirkender Zusätze entfallen.

3. Material und Methoden

In den Versuchsjahren 1995 - 1997 wurden insgesamt 10 Silierversuche unter Praxis- und Laborbedingungen sowie begleitende Untersuchungen durchgeführt. In der Praxis wurde mit Hilfe verschiedener Ballenpressen vor allem der Einfluß der Lagerungsdichte auf das Schimmelpilzwachstum untersucht. In Verbindung mit einer gestaffelten Folienlagenzahl wurden unterschiedliche Bedingungen für Lagerungsdichte und äußere Luftabschlußgüte eingestellt und geprüft. Die geprüften Bedingungen wurden in bezug auf andere Silier- und Wickelverfahren als übertragbar angesehen. Im Labor wurden Einflußfaktoren wie der Anwelkgrad untersucht, die bei Silierversuchen in der Praxis nur mit hohem Kostenaufwand variiert werden können.

Zur physikalischen Definition der Gasdurchlässigkeit der in den Praxis- und Laborsilierversuchen angewandten Varianten der Folienlagenzahl wurden radiometrische Langzeitmessungen durchgeführt. Für die Beurteilung der aeroben Stabilität der Silagen wurde eine Meßanordnung zur Erfassung des Temperaturverlaufes erarbeitet und diese Methode mit einem Verfahren zur Messung des Sauerstoffverbrauches verglichen. Zum Toxinbildungsvermögen von in Grassilagen natürlich vorkommenden *Penicillium roqueforti* - Stämmen wurden mikrobiologische Versuche durchgeführt. Für die chemische Analyse von Ergosterin wurde eine eigene Methode entwickelt. Eine vorhandene Methode zur Bestimmung des Mykotoxins Roquefortin C wurde modifiziert.

3.1 Praxissilierversuche

Die Praxissilierversuche P 1 bis P 5 wurden auf einer ca. 16 ha großen Grünfutterfläche im Golmer Luch bei Potsdam durchgeführt, die vom ortsansässigen Landwirtschaftsbetrieb vor allem für die Heuwerbung genutzt wird. Der in einem Niedermoorgebiet liegende und auch im Sommer relativ feuchte Standort erlaubt jährlich bis zu 3 Aufwüchse. Düngungsmaßnahmen werden wegen Ausgleichszahlungen nicht durchgeführt. Der Standort war wegen Vernässung jedes Jahr erst ab Anfang Juni mit Siliertechnik befahrbar. Um beim jahreszeitlichen Siliertermin von Extremen auszugehen, wurde der jährlich 1. Silierversuch Mitte / Ende Juni und der 2. Silierversuch Ende September / Anfang Oktober durchgeführt. Im Jahr 1995 fand technisch bedingt nur ein Silierversuch statt.

Ausgangsmaterial:

Als Siliergut wurde das Mähgut des 1. und des 3. Aufwuchses verwendet. Der jeweils 2. Aufwuchs diente dem Landwirtschaftsbetrieb für die Heuwerbung. Wesentliche Angaben zu Ernte, Pflanzenbestand und Parameter des Siliergutes sind in Tab. 1 dargestellt.

Die Aufwüchse bestanden überwiegend aus einem Gemisch von etwa 60 % Gräsern (u.a. Wiesenlieschgras, Ausdauerndes Weidelgras, Knautgras, Wiesenfuchsschwanz) und 40 % Klee und Kräutern (u.a. Rot- und Weißklee, Löwenzahn, Brennesseln, Distel- und Wickenarten). Der Futterwert der Aufwüchse wird durch den ortsansässigen Landwirtschaftsbetrieb als befriedigend und insbesondere für die Nutzung in der Mutterkuhhaltung als ausreichend eingeschätzt.

Das Grünfutter wurde mit einem Rotationsmäherwerk mit Nachzerkleinerer (KRONE) gemäht und innerhalb der Versuchsserie zeitlich verschieden lang angelwelkt. Sowohl bei den 1. Aufwüchsen als auch bei den 3. Aufwüchsen wurde mindestens einmal 24 h (Welkgrad W 1) und einmal 48 h (W 2) angelwelkt. Dies diente der Gewinnung unterschiedlicher Welkgrade in Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Siliertermin. In Versuch P 1 wurde 72 h angelwelkt und ein relativ hoher Welkgrad (W 3) erzeugt. Während des Welkens wurde das Grünfutter 2x am Tag gewendet und über Nacht sowie vor dem Einsilieren in Schwade gelegt. Die Schwade wurden bei der Einsilierung von den Ballenpressen direkt aufgenommen. Bei allen Arbeitsgängen wurde aufgrund von Bodenunebenheiten und Maulwurfshügeln ein mehr oder minder starker Erdeintrag in das Siliergut beobachtet.

Tab. 1: Ernte, Pflanzenbestand, Siliergutparameter und Varianten bei den Praxissilierungsversuchen

Ernte und Pflanzenbestand / Parameter des Siliergutes / Versuchsvarianten / n	1. AW 1995	1. AW 1996	3. AW 1996	1. AW 1997	3. AW 1997
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Erntetermin: Dekade/ Monat	2. / Juni	2. / Juni	1. / Oktober	3. / Juni	3. / Sept.
Schnittzeitpunkt	mittelspät	mittelspät	spät	spät	spät
Bestandeshöhe (cm)	60-70	60-70	40-50	70-80	50-60
Vegetationsstadium	Beginn / Mitte Blüte	Beginn / Mitte Blüte	über 6 Wo. nach 1. AW	Ende Blüte	über 6 Wo. nach 1. AW
Trockenmassegehalt (g/kg)	636,8	472,2	321,5	374,3	538,0
Rohasche (g/kg T)	73,8	107,7	118,7	74,0	127,1
Rohprotein (g/kg T)	119,7	146,7	146,9	106,2	129,7
Rohfaser (g/kg T)	271,4	267,0	259,0	297,4	241,9
WLKH (g/kg T)	140,9	135,0	64,6	73,2	119,9
Pufferkapazität (g MS/kg T)	52,2	49,2	55,1	33,6	41,3
WLKH/PK VK	2,7 85	2,7 69	1,2 42	2,2 55	2,9 77
Nitrat (g/kg T)	0,10	n.n.	0,41	n.n.	n.n.
Ergosterin (mg/kg T)	10,7	24,1	54,0	21,0	36,0
PK-Z (KBE _{lg} /g FM)	6,23	6,57	7,34	6,85	7,18
MSB-Z (KBE _{lg} /g FM)	3,87	4,41	3,43	3,00	3,15
Anwelkgrad (Anwelkdauer)	W 3 (72 h)	W 2 (48 h)	W 1 (24 h)	W 1 (24 h)	W 2 (48 h)
Preß- bzw. Lagerungsdichte	C / R	C / R	C / R	C / R / RS ¹⁾	C / R / RS ¹⁾
Anzahl der Folienlagen	2 / 4 / 6	2 / 4 / 6 / 8	2 ²⁾ / 4 / 6 / 8	2 / 4 / 6 / 8	2 / 4 / 6 / 8
Lagerungsdauer in Monaten	4	2 / 6	2 / 6	2 / 3 / 4 / 5	2 / 3 ²⁾ / 4
Ballen je Versuch / Variante	12 / 2	32 / 2	23 / 1-2	60 / 1-2	38 / 1-2

¹⁾ - kürzere Häcksellänge; ²⁾ - Wegen geringen Futterertrages wurden in dieser Variante keine „R“-Silageballen hergestellt.

Einsilierung:

Abhängig vom Grünfutterertrag wurden bei den Versuchen je Variante 1-2 Silageballen hergestellt. Die Varianten und die Anzahl der je Versuch hergestellten Silageballen sind in Tab. 1 angegeben. Mit unterschiedlichen Pressen-Bauarten wurde das Ballen-Silivverfahren in Kombination mit dem Einzelballen-Wickelverfahren angewandt. Zur Erzeugung einer unterschiedlichen Lagerungsdichte bei den Silageballen (Dichte-Varianten bzw. Ballentypen C und R) wurden eine hochverdichtende Compactrollenpresse (Abb. 3: Technologiestudie CRP 1000, LELY-WELGER / KRONE) und eine praxisübliche Rundballenpresse mit konstantem Preßkammervolumen (RP 200, LELY-WELGER) eingesetzt. Beide Pressen verfügten über eine Vorschneideinrichtung. Die hergestellten Ballen wiesen in der Länge etwa gleiche Abmessungen auf (ca. 1,2 m). Im Durchmesser waren technisch bedingt Unterschiede zwischen Compactrollen (ca. 1,0 m) und Rundballen (ca. 1,2 m) feststellbar.

In den Versuchen P 4 und P 5 (1997) stand zusätzlich eine zweite Rundballenpresse (RP 220, LELY-WELGER) zur Verfügung. Beide Rundballenpressen waren im wesentlichen bauartgleich, die zweite Rundballenpresse verfügte aber über eine verbesserte Vorschneideinrichtung. Der Messerblock dieser Vorschneideinrichtung war mit der etwa zehnfachen Anzahl Schneidmesser wie der Messerblock der ersten Rundballenpresse ausgerüstet. Durch die intensivere Zerkleinerung des Siliergutes wurde im Vergleich zu den Ballentypen R und C in den erzeugten Silageballen (RS) eine andere Häcksellängenverteilung erzeugt. Die konkrete Häcksellängenverteilung (P 4 und P 5) ist in Tab. A 2 dargestellt. Der wesentlichste Unterschied bestand hinsichtlich der Masseanteile im



Abb. 3: Grassilagebereitung mit einer hochverdichtenden Compactrollenpresse

Häcksellängen-Bereich ≤ 100 mm. Während bei den Ballentypen R und C in dieser Größenfraktion nur jeweils ca. 15 % der Masseanteile vorlagen, waren es bei dem Ballentyp RS fast 50 %. Bei der Ballenherstellung mit den Pressen wurde grundsätzlich vom jeweiligen Stand der Technik ausgegangen und im Interesse hoher Verdichtung die kleinsten erreichbaren Häcksellängen angestrebt. Bei den praxisüblich hergestellten Rundballen (R) wurde überwiegend eine T-Dichte im Bereich von 170-200 kg T/m³ in den Silagen erreicht. Von den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (RS) waren weit mehr als die Hälfte der Silagen etwa 10-15 % höher verdichtet. Die erreichte T-Dichte lag bei 50 % dieser Rundballen (RS) über 210 kg T/m³. Bei den Compactrollen (C) wurde in etwa 75 % der Silagen eine T-Dichte von mehr als 290 kg T/m³ erreicht. Die in den Ballensilagen erzeugte T-Dichte wird zusammenfassend im Anhang in Tab. A 1 dargestellt.

Alle Silageballen wurden bei jedem Versuch am selben Tag gepreßt und binnen 1-3 Stunden nach Herstellung in unmittelbarer Nähe des vorgesehenen Lagerplatzes mit Hilfe eines Folienwickelgerätes (FG 6, LELY-WELGER) eingewickelt. In den Versuchen wurde stets die Preßballenstretchfolie AGRI-STRETCH: weiß / 500 mm breit / 0,025 mm stark (UNTERLAND) verwendet. Das Wickeln erfolgte mit ca. 55 % Vorstreckung und 50 % Überlappung. Die verschiedenen Stufen der äußeren Luftabschlußgüte wurden durch das Umwickeln mit 2-8 Folienlagen erzeugt. Die Lagerung der Silagen erfolgte im Freien. Hierbei wurde ein Vogelschutznetz verwendet. Die Lagerungsdauer wurde außer bei Versuch P 1 gestaffelt. Zu den vorgesehenen Auslagerungsterminen wurden die Silagen versuchstechnisch bedingt nicht an einem Tag sondern innerhalb von 3–5 Tagen ausgelagert.

Bestimmung von Gärverlust und Lagerungsdichte:

Am Siliertag wurde jeder Silageballen vor dem Einwickeln auf Durchmesser und Länge hin vermessen. Nach dem Einwickeln wurden die Ballen durch einen Mobilkran mit Hilfe von Schwerlast-Hebebändern einzeln angehoben und mit einer geeichten, digitalen Anhängewaage (TRACTEL) gewogen. Am Tag der Auslagerung wurde vor dem Entfernen der Folie ebenfalls eine Wägung durchgeführt. Unter Berücksichtigung des Foliengewichtes wurde der jeweilige Gärverlust der Silageballen als Gewichtsverlust ermittelt. Eine Korrektur auf gelöstes Kohlendioxid wurde wegen der relativ groben Genauigkeit der Waage von $\pm 0,5$ kg nicht durchgeführt.

Die jeweilige Lagerungsdichte der Ballen wurde als Trockenmasse-Lagerungsdichte aus dem Gewicht (ohne Folie) und den Abmessungen am Tag der Einsilierung sowie dem Trockenmassegehalt im Ausgangsmaterial berechnet. Bei ausgewählten Silageballen wurde die Lagerungsdichte auch nach einer radiometrischen Methode ermittelt [GLÄSER und FUCHS, 1993; FÜRLI et al., 1996].

Probenahme bei Ausgangsmaterial und Ballensilagen:

Für die Probenahme vom Ausgangsmaterial wurde unmittelbar vor der Einsilierung in diagonalen Richtung quer über den Schlag von jedem Siliertgut-Schwad eine Probe von ca. 300 g FM genommen. Die Proben wurden zu einer Mischprobe zusammengefaßt und homogenisiert, insgesamt 3-4 kg. Diese Probenahme wurde bis zum Versuchsabschluß im Intervall von 1,5 h wiederholt. Alle Mischproben wurden einzeln weiter aufgearbeitet.

Zur Beprobung der Silagen (Abb. 4) wurde jeder Ballen nach Entfernen der Folie visuell begutachtet und anschließend mit einem Ballenschneidmesser (BUSATIS) in Längsrichtung von oben nach unten etwa 10-15 cm tief eingeschnitten. Die Randschicht (etwa 5-10 cm stark) wurde nach außen geklappt und ausgebreitet abgelegt. Nach der Sinnenprüfung wurde diese Silageschicht und die beiden Enden des walzenförmigen Ballens für die Gewinnung einer repräsentativen „Rand“-Probe gleichmäßig beprobt. Anschließend wurde der restliche Ballen vollständig durchgeschnitten, auseinander geklappt und der Kernbereich (etwa 35-40 cm vom Ballenrand entfernt) nach der Sinnenprüfung für eine repräsentative „Kern“-Probe gleichmäßig beprobt. Der Übergangsbereich zwischen den Probenahmezonen „Rand“ und „Kern“ wurde als Pufferzone angesehen und nicht beprobt. Bei der Probenahme wurde die Verschimmelung der Silagen sensorisch beurteilt (muffiger Geruch, visuell sichtbarer Schimmelbefall). Die Einschätzung des prozentualen Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage wurde dabei auf die gesamte Probenahmezone des jeweiligen Silageballens bezogen. Die gleichmäßige Beprobung bedingte, daß bei Vorhandensein von Schimmel in den Probenahmezonen auch anteilig verschimmelte Silage in die jeweilige Sammelprobe gelangte. Bei den einzelnen Sammelproben wurde nach der Probenahme keine Klassifizierung hinsichtlich Schimmelbefall mehr vorgenommen. Beide Sammelproben eines Ballens (jeweils ca. 4,5 kg FM) wurden getrennt durch Mischen homogenisiert und einzeln weiter bearbeitet. Das für die chemische Analytik bestimmte Probenmaterial wurde bis zur Verarbeitung bei -18°C in Plastikbeuteln gelagert. Die mikrobielle Analytik und die Beurteilung der aeroben Stabilität der Silagen wurde unmittelbar im Anschluß an die Probenahme mit frischem Probenmaterial durchgeführt.



Abb. 4: Auslagerung der Silageballen mit einem Ballenschneidmesser

In den Ausgangsmaterialien wurden Trockenmassegehalt, Rohnährstoffe (Rohasche-, Rohprotein-, Rohfasergehalt), Parameter der Vergärbarkeit (Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, Pufferkapazität), Nitrat- und Ergosteringehalt sowie mikrobieller Status (Keimzahl von Pilzen, Milchsäurebakterien und Listerien) analysiert. Die Silagen wurden sensorisch beurteilt und neben der Analyse auf Trockenmassegehalt, Rohnährstoffe und mikrobiellen Status vor allem bezüglich Konservierungserfolg (pH-Wert, Gehalt an Milchsäure und flüchtigen Fettsäuren, Alkohol- und Ammoniakgehalt), Dauer der aeroben Stabilität sowie Gehalt an Roquefortin C und Ergosterin hin untersucht.

3.2 Laborsilierversuche

Die Laborsilierversuche L 1 bis L 5 wurden im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. durchgeführt. Der jährlich 1. Silierversuch wurde Ende Juli und der 2. Silierversuch Mitte / Ende September durchgeführt. Im Jahr 1995 fand technisch bedingt nur ein Silierversuch statt. In den Versuchen wurden mehrere Stufen des Anwelkgrades geprüft. Hierbei sollten Praxisbedingungen durch Schadbelastrungen des Siliergutes und Witterungseinflüsse durch kontrollierte Luftdruckschwankungen in Laborsilos simuliert werden. Die Wirksamkeit von Silierzusätzen sowie qualitative Veränderungen bei Luftzutritt von der Oberfläche aus wurden in Versuch L 1 mit Faßsilos untersucht. Um den Einfluß von Anwelkgrad und Folienlagenzahl auf das Pilzwachstum unter definierten Bedingungen zu prüfen, wurde für die Versuche L 2 bis L 5 eine Silieranlage mit Laborsilos errichtet.

Silieranlage:

Für die Silieranlage wurden insgesamt 30 zylindrische Laborsilos aus Plexiglas (Wandung: 10 mm) mit einem Volumen von jeweils 5 l angefertigt. Der Aufbau eines Laborsilos ist in Abb. 5 dargestellt.

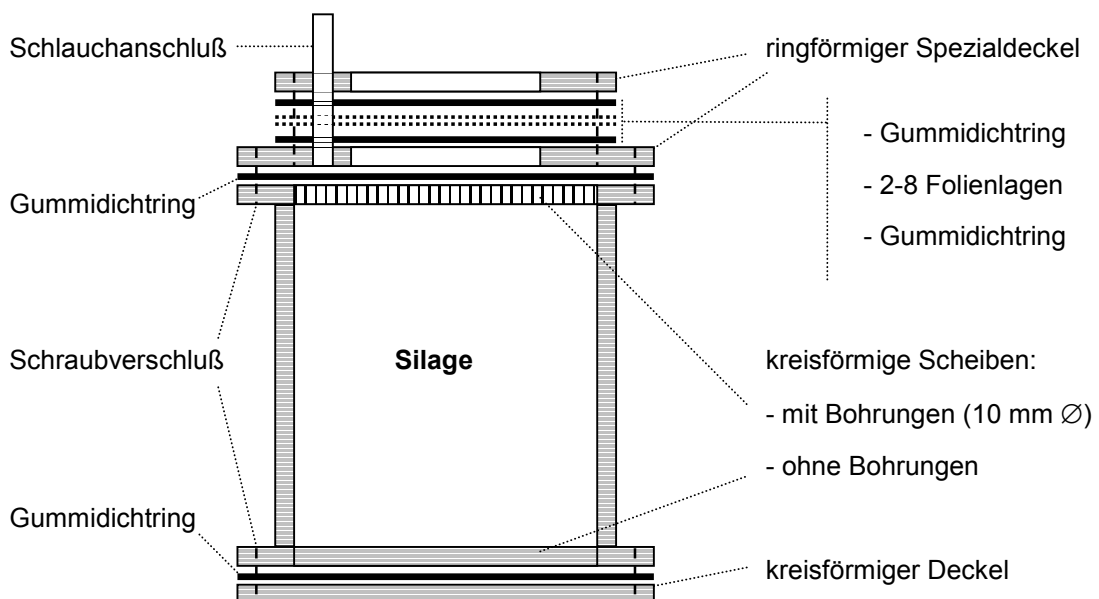


Abb. 5: Schematische Darstellung eines zylindrischen Laborsilos für die Versuche L 2 bis L 5

In den ringförmigen Spezialdeckel wurden je nach Variante der äußeren Luftabschlußgüte 2 bis 8 übereinandergelegte Folien eingelegt und am Außenrand mit einem Spannring gasdicht verschlossen. Es wurde stets dieselbe Stretchfolie wie in den Praxisilierversuchen verwendet. Durch geringe Innendruckschwankungen in den Laborsilos bzw. die Verstärkung der natürlichen Luftdruckschwankungen sollten Witterungseinflüsse (Wind / atmosphärische Luftdruckschwankungen) auf den Gasaustausch durch die Folienabdeckung bei der Silagelagerung im Freien simuliert werden. Hierzu wurde jedes Laborsilo mit Hilfe eines Schlauchanschlusses im Silodeckel über einen Polyethylenschlauch (10 mm Ø, 15 cm Länge) an ein Zweiweg-Magnetventil angeschlossen. An den Magnetventilen wurde über ein kontrolliertes Vakuumsystem (BÜCHI) ein geringer Unterdruck von konstant -20 mbar Druckdifferenz zum jeweils vorliegenden atmosphärischen Luftdruck angelegt. Die Differenz von -20 mbar entsprach den täglichen atmosphärischen Luftdruckschwankungen, die bei den Messungen zur Gasdurchlässigkeit von Stretchfolie beobachtet wurden (siehe Kap. 3.3.1). Die Magnetventile wurden mit Hilfe einer automatischen Steuerung kurzzeitig (10 s) und zeitlich gestaffelt (12x/Tag) geöffnet. In den Silos wurde dabei zwischen Futteroberfläche und Folienmembran Gas abgesaugt und der im Vakuumsystem herrschende Unterdruck eingestellt. Der induzierte Unterdruck im Silo sollte sich infolge Luftdiffusion durch die Folienlagen von selbst wieder ausgleichen, wenn kein Gas abgesaugt wurde. Der atmosphärische Luftdruck wurde parallel zu den Versuchen fortlaufend gemessen und aufgezeichnet.

Ausgangsmaterial:

Als Ausgangsmaterial wurde das Mähgut des 2. und 3. Aufwuchses verwendet. Der jeweils 1. Aufwuchs wurde versuchstechnisch bedingt nicht einsiliert. Wesentliche Angaben zu Ernte, Pflanzenbestand und Siliergutparametern sind in Tab. 2 ersichtlich. Die in Tab. 2 bei jedem Versuch jeweils 2 - 3 Angaben zu den einzelnen Siliergutparametern stehen für die einzelnen Stufen des Welkgrades (von oben nach unten: z.B. W 0 → W 1 → W 2). Das Siliergut für die Versuche L 1 bis L 3 wurde auf dem auch für die Praxisilierversuche genutzten Standort gewonnen. Das Grünfutter wurde mit einem Mäh- und Häckselwerk (KEMPER) gemäht und auf eine theoretische Häcksellänge von 30 mm geschnitten. In den Versuchen L 2 und L 3 wurde bei natürlich vorhandenen Bodenunebenheiten und Maulwurfshügeln eine Schnitthöhe von 40-60 mm gewählt. Hierdurch sollte der in den Praxisilierversuchen beobachtete Erdeintrag in das Siliergut nachvollzogen bzw. praxisübliche Schadbelastrungen simuliert werden. Das Siliergut für die Versuche L 4 und L 5 wurde auf der Versuchsfläche für ökologischen Landbau der Versuchsstation Blumberg der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin gewonnen. Das Grünfutter, ein Klee-grasgemisch mit 50-60 % Kleeanteil (u.a. Ausdauerndes Weidelgras, Knautgras, Rot- und Weißklee), wurde mit einem Anbau-Mähebalken gemäht und danach mit einem stationären Probenhäcksler auf eine theoretische Häcksellänge von 10 mm geschnitten.

Das Grünfutter wurde bei allen Versuchen homogenisiert und regengeschützt ausgebreitet. Die Variante mit dem Welkgrad W 0 (frisch bzw. nicht angewelkt) wurde sofort einsiliert. Für die Erzeugung der unterschiedlichen Welkgrade W 1 und W 2 wurde das Siliergut 24 h bzw. 48 h angewelkt.

Tab. 2: Ernte, Pflanzenbestand und Siliergutparameter bei den Laborsilierungsversuchen

Ernte und Pflanzenbestand / Anwelkggrad / Parameter des Siliergutes	2. AW 1995	2. AW 1996	3. AW 1996	2. AW 1997	3. AW 1997
	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
Erntetermin: Dekade/ Monat	3. / Juli	3. / Juli	3. / Sept.	3. / Juli	2. / Sept.
Schnittzeitpunkt	mittelspät	mittel	spät	mittel	spät
Bestandeshöhe (cm)	50-60	50-60	40-50	70-80	50-60
Vegetationsstadium	4-6 Wochen nach 1. AW	4-6 Wochen nach 1. AW	über 6 Wo. nach 1. AW	4-6 Wochen nach 1. AW	über 6 Wo. nach 1. AW
Anwelkggrad (Anwelkdauer)	W 0 (0 h) W 1 (24 h)	W 1 (24 h) W 2 (48 h)	W 0 (0 h) W 1 (24 h) W 2 (48 h)	W 0 (0 h) W 1 (24 h) W 2 (48 h)	W 0 (0 h) W 1 (24 h) W 2 (48 h)
Trockenmassegehalt (g/kg)	W 0: 186,0 W 1: 294,0	W 1: 298,5 W 2: 382,0	W 0: 309,5 W 1: 386,2 W 2: 503,3	W 0: 238,2 W 1: 309,5 W 2: 358,3	W 0: 366,4 W 1: 527,7 W 2: 606,2
Rohasche (g/kg T)	W 0: 70,8 W 1: 78,9	W 1: 143,9 W 2: 151,5	W 0: 184,0 W 1: 177,0 W 2: 173,0	W 0: 96,7 W 1: 93,6 W 2: 97,9	W 0: 108,1 W 1: 108,9 W 2: 108,9
Rohprotein (g/kg T)	W 0: 126,0 W 1: 124,0	W 1: 212,7 W 2: 212,0	W 0: 241,3 W 1: 238,1 W 2: 235,6	W 0: 198,4 W 1: 186,6 W 2: 184,2	W 0: 183,1 W 1: 188,6 W 2: 182,3
Rohfaser (g/kg T)	W 0: 277,2 W 1: 260,3	W 1: 224,0 W 2: 231,4	W 0: 218,2 W 1: 229,4 W 2: 221,8	W 0: 246,2 W 1: 246,8 W 2: 238,7	W 0: 204,6 W 1: 207,7 W 2: 203,4
WLKH (g/kg T)	W 0: 62,3 W 1: 79,9	W 1: 27,2 W 2: 20,1	W 0: 29,1 W 1: 19,8 W 2: 42,0	W 0: 33,5 W 1: 26,2 W 2: 30,0	W 0: 34,1 W 1: 22,0 W 2: 19,4
Pufferkapazität (g MS/kg T)	W 0: 44,4 W 1: 45,9	W 1: 74,4 W 2: 71,0	W 0: 73,2 W 1: 75,2 W 2: 74,0	W 0: 80,9 W 1: 85,9 W 2: 89,8	W 0: 81,9 W 1: 81,1 W 2: 85,7
WLKH/PK – Quotient	1,4 1,7	0,4 0,3	0,4 0,3 0,6	0,4 0,3 0,3	0,4 0,3 0,2
Vergär- barkeits- koeffizient	30 43	33 40	34 41 55	27 33 38	40 55 61
Nitrat (g/kg T)	W 0: 1,10 W 1: 0,64	W 1: 0,27 W 2: 0,33	W 0: 0,40 W 1: 0,38 W 2: 0,65	W 0: 0,16 W 1: 0,21 W 2: 0,22	W 0: 0,29 W 1: 0,24 W 2: 0,18
Ergosterin (mg/kg T)	W 0: 13,0 W 1: 8,1	W 1: 55,3 W 2: 108,3	W 0: 22,1 W 1: 63,0 W 2: 116,1	W 0: 12,9 W 1: 17,6 W 2: 15,7	W 0: 32,4 W 1: 50,6 W 2: 54,2
PK-Z (KBE _{lg} /g FM)	W 0: 6,15 W 1: 6,95	W 1: 7,40 W 2: 8,32	W 0: 6,51 W 1: 7,45 W 2: 8,73	W 0: 7,08 W 1: 7,53 W 2: 7,20	W 0: 7,30 W 1: 7,00 W 2: 7,61
MSB-Z (KBE _{lg} /g FM)	W 0: 7,08 W 1: 7,60	W 1: 8,15 W 2: 8,08	W 0: 4,15 W 1: 6,64 W 2: 7,00	W 0: 8,30 W 1: 8,58 W 2: 8,38	W 0: 6,15 W 1: 6,20 W 2: 7,00

(L 1: Faßsilos, L 2 bis L 5: Laborsilos)

Einsilierung:

In die Faß- bzw. Laborsilos wurden jeweils konstante FM-Mengen einsiliert. Infolge der verschiedenen Anwelkgrade des Siliergutes wurde dadurch in den Silagen eine unterschiedliche T-Dichte (unterschiedliches Porenvolumen) erzeugt. Die Versuchsvarianten sind in Tab. 3 dargestellt.

Im Versuch L 1 wurden jeweils 60 kg FM in jedes Faßsilo (100l-Plastikfässer) eingelagert und durch Feststampfen verdichtet. In den Varianten mit Silierzusätzen wurde der jeweilige Zusatz unmittelbar vorher in das gesamte zu silierende Material eingemischt. Die Aufwandmenge bei Propionsäure (BASF) betrug 5 kg/t FM. Bei dem Milchsäurebakterienzusatz (Stamm 8+14, ATB) wurde eine gleichmäßige theoretische Impfdichte von je 100000 KBE/g FM angestrebt. Der Milchsäurebakterienzusatz stand technisch bedingt nur für das frisch einsilierte Grünfutter (W 0) zur Verfügung. Die Faßsilos wurden durch je 6 Folienlagen bzw. den Original-Plastikdeckel mit Hilfe eines Spannrings verschlossen und genau drei Monate regengeschützt im Freien stehend gelagert.

In den Versuchen L 2 bis L 5 wurden in die Plexiglas-Laborsilos jeweils 2 kg FM eingelagert und durch festdrücken verdichtet. In der oberen Welkstufe von Versuch L 5 wurden wegen schwerer Verdichtbarkeit des Siliergutes nur je 1,5 kg FM in die Laborsilos eingelagert. Die verschiedenen Stufen der äußeren Luftabschlußgüte wurden durch unterschiedliche Folienlagenzahlen im Silodeckel hergestellt, wobei jeder Anwelkgrad mit jeder Folienlagenzahl kombiniert wurde. Im Versuch L 3 wurden für die Varianten mit natürlichen Luftdruckschwankungen technisch bedingt 2 I-Laborsilos (WECK®) verwendet. In jedes 2 I-Laborsilo wurden je 0,8 kg FM einsiliert. Als weitere Stufe des Luftabschlusses wurde hier eine Variante mit Deckelverschluß angelegt. In den Versuchen L 4 und L 5 wurden zur Simulation von Schadbelastungen unmittelbar vor der Einsilierung in das Aus-

Tab. 3: Varianten der Laborsilierungsversuche (L 1: Faßsilos, L 2 bis L 5: Laborsilos)

Versuchsvarianten	2. AW 1995	2. AW 1996	3. AW 1996	2. AW 1997	3. AW 1997
	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
Anwelkgrad	W 0 / W 1	W 1 / W 2	W 0 / W 1 / W 2	W 0 / W 1 / W 2	W 0 / W 1 / W 2 ⁵⁾
Anzahl der Folienlagen	6 / D ^{1),2)}	2 / 6	2 / 5 / 8 / D ^{1),3)}	2 / 5 / 8	2 / 4 / 6 / 8
Lagerungsdauer in Monaten	3	1	1	1	1
Silierzusatz	ohne / PS / MSB ⁴⁾	ohne	ohne	ohne	ohne
Simulation von Schadbelastungen	ohne	Erdeintrag	Erdeintrag	ohne / mit Beimpfung	ohne / mit Beimpfung
Luftdruckschwankungen	natürlich	verstärkt / natürlich	verstärkt / natürlich	verstärkt	verstärkt
Siloanzahl je Variante	2	3-4	3	1-2	1-2

¹⁾ – mit Deckelverschluß; ²⁾ – kein Silierzusatz; ³⁾ – nur natürliche Luftdruckschwankungen; ⁴⁾ – nur bei Anwelkgrad W 0 geprüft;

⁵⁾ – versuchstechnisch bedingt geringere Silierguteinwaage (1,5 kg FM) bzw. FM-Dichte in den Laborsilos dieser Welkstufe

gangsmaterial der entsprechenden Varianten Schimmelpilzsporen eingebracht. Hierfür wurde das Siliergut einzeln für jedes beimpfte Laborsilo mit einer *Penicillium roqueforti* - Sporensuspension inokuliert (Angaben zur Herstellung in Kap. 3.3.2). Hierbei wurde in jedem beimpften Laborsilo eine gleichmäßige theoretische Impfdichte von etwa 10000 Schimmelpilz-KBE/g FM (5000 KBE/g FM *Penicillium roqueforti* DSM 11484 + 5000 KBE/g FM *Penicillium roqueforti* DSM 11485) angestrebt.

Die Laborsilos wurden abgedunkelt bei 25°C gelagert. Die Lagerungsdauer betrug in den Silierversuchen L 2 bis L 5 jeweils genau einen Monat.

Bestimmung von Gärverlust und Lagerungsdichte:

Unter Berücksichtigung des Gewichtes der einzelnen Faß- und Laborsilos wurde der jeweilige Gärverlust der Silagen als Gewichtsverlust zwischen Silierguteinwaage und Silageauswaage ermittelt. Eine Korrektur auf gelöstes Kohlendioxid wurde wegen der allgemein sehr geringen Differenzen von 1-4 % Gärverlust nicht durchgeführt. Die Lagerungsdichte der Silagen wurde als Trockenmasse-Lagerungsdichte aus der Silierguteinwaage und dem Trockenmassegehalt im jeweiligen Ausgangsmaterial unter Berücksichtigung des Volumens der Faß- bzw. Laborsilos berechnet.

Probenahme bei Ausgangsmaterial und Silagen:

Für die Probenahme vom Ausgangsmaterial wurde unmittelbar vor der Einsilierung der einzelnen Varianten des Anwelkgrades vom frischen (W 0) bzw. gewelkten (W 1 und W 2) Siliergut eine repräsentative Probe von jeweils ca. 2 kg FM genommen, homogenisiert und aufgearbeitet.

Für die Beprobung der Silagen im Versuch L 1 wurde von jedem Faßsilo die optisch verschimmelte (obere) Schicht abgenommen und als Randschicht betrachtet. Die optisch unverschimmelte (untere) Schicht wurde als Kernschicht angesehen. Die einzelnen Schichten wurden einheitlich beprobt und die Proben durch Mischen homogenisiert. Die „Rand“- und „Kern“-Probe (je ca. 2 kg FM) wurden getrennt weiter bearbeitet. In den Varianten mit Deckelverschluß wurde optisch generell kein Schimmelbefall festgestellt, weshalb eine Unterteilung in Rand und Kern nicht vorgenommen wurde. In den Versuchen L 2 bis L 5 mit Laborsilos wurde jedes Silo vollständig entleert. Der Inhalt der Silos einer Variante wurde miteinander vermischt und eine Probe von je ca. 3,5 kg FM genommen.

Die Verschimmelung der Silagen wurde sensorisch beurteilt. Die prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter Silage wurde auf den gesamten Inhalt eines Silos bezogen. Bei den einzelnen Proben wurde hinterher keine Klassifizierung hinsichtlich Schimmelbefall mehr vorgenommen. Das für die chemische Analytik bestimmte Probenmaterial wurde bis zur Verarbeitung bei -18°C in Plastikbeuteln gelagert. Die mikrobielle Analytik und die Beurteilung der aeroben Stabilität der Silagen wurde unmittelbar im Anschluß an die Probenahme mit frischem Probenmaterial durchgeführt. Ebenso wie in den Praxissilierversuchen wurden in den Ausgangsmaterialien Trockenmassegehalt, Rohnnährstoffe, Parameter der Vergärbarkeit, Nitrat- und Ergosteringehalt sowie mikrobieller Status analysiert. Die Silagen wurden sensorisch beurteilt und neben der Analyse auf Trockenmassegehalt, Rohnnährstoffe und mikrobiellen Status vor allem bezüglich Konservierungserfolg, Dauer der aeroben Stabilität sowie Gehalt an Roquefortin C und Ergosterin hin untersucht.

3.3 Begleitende Untersuchungen

3.3.1 Gasdurchlässigkeit der verwendeten Silierstretchfolie

Die Versuche wurden im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. bei Einhaltung der geltenden Sicherheitsvorschriften für Arbeiten mit radioaktiven Stoffen und im Beisein des zuständigen Kernstrahlungsbeauftragten durchgeführt. Die Gasdurchlässigkeit der in den Praxis- und Laborsilierungsversuchen verwendeten Preßballen-Silierstretchfolie wurde bei 18-20°C Raumtemperatur nach einer radiometrischen Methode ermittelt [RETTIG und KLICH, 1986; GLÄSER und FUCHS, 1993].

Der für die Messungen verwendete Kernstrahlungsmeßplatz wurde mit folgenden Spezialgeräten aufgebaut: Linearverstärker-Analysator VA-V-100 (RFT), Halogenzählrohr VA-Z-118 mit Zählrohrsonde 72013 (RFT), 10 MHz-Impulszähler VA-G-120 mit Ergebnisdrucker VA-G-24 A (RFT).

Als Tracer wurde das chemisch inerte, radioaktive Edelgasnuklid $^{85}\text{Krypton}$ verwendet. Der Moleküldurchmesser von Krypton ist mit 32×10^{-8} mm in derselben Größenordnung wie der von Kohlendioxid (32×10^{-8} mm), Sauerstoff (O_2) (29×10^{-8} mm) und Stickstoff (N_2) (31×10^{-8} mm).

Versuchsdurchführung:

In den ringförmigen Deckelrand eines zylindrischen Stahlbehälters (10 mm stark) wurden 8 Folienlagen übereinander eingelegt und am Außenrand durch einen Spannring gasdicht verschlossen (Abb. 4). Der Detektor (Halogenzählrohr mit Zählrohrsonde) wurde durch eine Seitenwandbohrung in den Behälter eingelassen und die Bohrung gasdicht mit Epoxydharz vergossen. Mit einer Injektionsspritze wurden 2x je 10 ml $^{85}\text{Krypton}$ (ca. 70 kBq) über einen gasdicht verschließbaren Stutzen zugeführt. Nach jeder Injektion wurde mit der Spritze ein dreimaliges „Nachpumpen“ durchgeführt, um den Tracer gleichmäßig zu verteilen. Die Konzentrationsänderung von $^{85}\text{Krypton}$ wurde kontinuierlich im Abstand von 2,0 Stunden über die Änderung der Impulszählrate erfaßt. Die eingesetzte Aktivität je Versuch betrug ca. 150 kBq mit einer Ausgangszählrate von ca. 8000 Impulse/min.

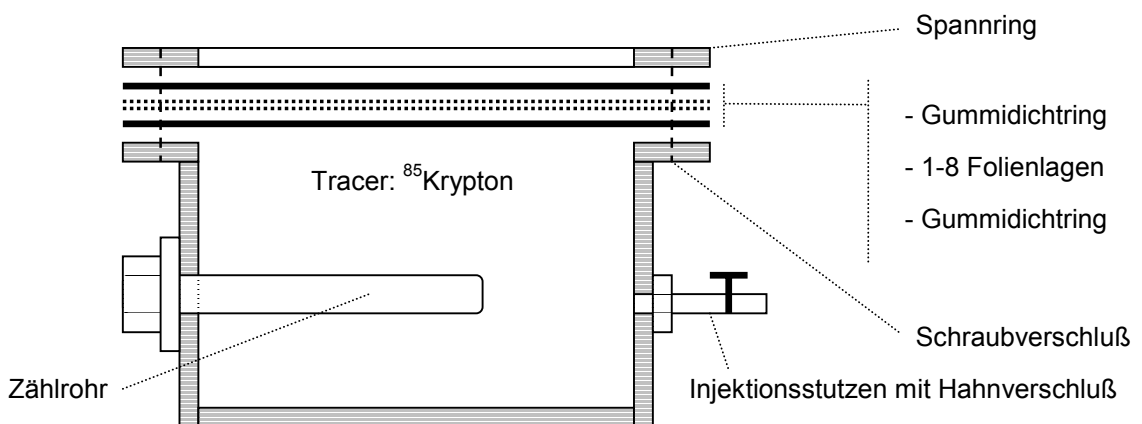


Abb. 6: Stahlbehälter zur radiometrischen Messung der Gasdurchlässigkeit von Stretchfolie

Die Versuchsdauer je Variante der Folienlagenzahl (1 F - 8 F) betrug abhängig vom Gasaustausch 3-4 Wochen. Danach wurde eine Folienlage entfernt und der nächste Versuch durchgeführt. Zur Prüfung der Dichtheit des Behälters und als Kontrolle wurde vor und nach den Versuchen mit Folie die Gasdurchlässigkeit einer in den Deckel eingelegten 5 mm starken Stahlplatte gemessen. Die Konstanz der Meßanordnung wurde durch Kalibrierung mit einer ¹³⁷Cäsium-Prüfquelle kontrolliert.

Die Gasdurchlässigkeit bei der jeweiligen Folienlagenzahl wurde nach folgender Formel berechnet:

$$D = \frac{\ln \frac{c_0}{c_t}}{t} \times \frac{V}{A}$$

- D = physikalischer Gasaustausch bzw. Gasdurchlässigkeit (l/m² in 24 h)
 c = Konzentration des Tracers: c₀ – zu Beginn der Messung; c_t – am Ende der Messung
 t = Zeiteinheit von Beginn bis Ende einer Messung
 V = Gasvolumen (Innenvolumen des Behälters = 10,01 l)
 A = Fläche (Folienfläche bzw. Gasaustauschfläche des Behälters = 0,057 m²)

Parallel zu den Messungen im Isotopenlabor wurde der atmosphärische Luftdruck fortlaufend gemessen. Hierbei traten tägliche Schwankungen bis zu 25 mbar auf. Zur Überprüfung wurden die gemessenen Luftdruckwerte mit den amtlichen Luftdruckdaten des betreffenden Versuchszeitraumes verglichen. Diese wurden vom Deutschen Wetterdienst Potsdam zur Verfügung gestellt.

3.3.2 Toxinbildungsvermögen von *Penicillium roqueforti* - Isolaten

In den Praxisilierversuchen P 2 und P 3 (1996) und den Laborsilierversuchen L 2 und L 3 (1996) wurden von visuell verschimmelten Silagen *Penicillium roqueforti* - Stämme isoliert und kultiviert. Die Pilzisolat wurden in der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub auf ihr Roquefortin C - Bildungsvermögen hin untersucht. Die Untersuchungen dienten insbesondere der Selektion von zwei geeigneten Stammkulturen für die Herstellung der in den Laborsilierversuchen L 4 und L 5 (1997) benötigten *Penicillium roqueforti* - Inokulate.

Die beiden ausgewählten *Penicillium roqueforti* - Isolate wurden zur Überprüfung und Bestätigung an die „Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH“ (DSMZ) geschickt.

Nährmedien:

Für die Isolierung von *Penicillium roqueforti* - Stämmen wurde ein in der Literatur beschriebenes Selektiv-Nährmedium verwendet [ENGEL und TEUBER, 1978]: Es wurden 19,2 g Czapek-Dox-Agar (MERCK 5460) in 400 ml Reinstwasser gelöst. Das sterilisierte Nährmedium wurde nach dem Abkühlen auf ca. 45-50°C mit 2 ml sterilfiltrierter (0,20 µm) Essigsäure (99-100%ig) versetzt, in Petrischalen gegossen und bis zum Verbrauch bei 4°C gelagert (höchstens 7-10 Tage).

Zum Abschwemmen von *Penicillium roqueforti* - Isolaten wurde ein spezielles Flüssigmedium hergestellt. Hierzu wurden 800 mg Yeastextrakt-Agar (DIFCO 5577) und 1,6 g Saccharose in 400 ml Reinstwasser gelöst. Das sterilisierte Flüssigmedium wurde nach dem Abkühlen bis zum Verbrauch ebenfalls bei 4°C gelagert (höchstens 7-10 Tage). Alle weiteren Nährmedien wurden nach Herstellerangaben bzw. Standardvorschriften hergestellt.

Isolierung und Kultivierung von *Penicillium roqueforti*-Stämmen:

Von visuell verschimmelten Frischproben wurde Silage entnommen, auf 2-3 cm Häcksellänge zerkleinert und gleichmäßig auf einen Selektiv-Nährboden gelegt. Die Nährböden wurden 10 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Neben *Penicillium roqueforti* kann zumindest *Penicillium glabrum* ebenfalls auf dem Selektiv-Nährmedium wachsen [SPICHER und WESTENHOFF, 1985]. Bei Wachstum charakteristischer *Penicillium*-Kolonien wurden diese deshalb auf ihre mikroskopischen Merkmale (Hyphen, Fruchtkörper, Konidien) hin untersucht. Bei Verdacht auf *Penicillium roqueforti* wurden Sporen oder Mycelstücke dieser Kolonien auf Nährböden (Malzextrakt-Agar / MERCK 1.05398) überimpft. Diese Nährböden wurden 7 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt) und die Kolonien anhand morphologischer (Farbe, Form, Durchmesser) und mikroskopischer (Form von Hyphen, Fruchtkörper und Konidien; Konidiengröße) Merkmale identifiziert [SAMSON et al., 1995]. Bei Vorliegen charakteristischer Merkmale von *Penicillium roqueforti* wurde die Kolonie zur Stammkonservierung auf Schrägagar (Malzextrakt-Agar) überimpft und 10 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Anschließend wurde die Schrägkultur mit sterilem Paraffinöl überschichtet und bei 4°C als Stammkonserve bis zur weiteren Verwendung gelagert.

Untersuchung des Roquefortin C - Bildungsvermögens der *Penicillium roqueforti* - Isolate:

Von jedem *Penicillium roqueforti* - Isolat (Stammkonserve) wurden Konidien auf je 3 Nährböden (Malzextrakt-Agar / MERCK 1.05398) überimpft und 10 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Für die Herstellung einer Sporensuspension wurde jede Petrischale mit 10 ml Flüssigmedium überschichtet, die Konidien mit einem Drigalski-Spatel abgeschabt und in einen sterilen Erlenmeyerkolben überführt. Die gewonnene Suspensionsmenge je Isolat betrug etwa 20 ml.

Von frischer Grassilage, bei der kein Roquefortin C nachgewiesen werden konnte, wurden jeweils 100 g in einen 1000 ml Weithalskolben eingewogen und autoklaviert. Je 7,5 ml der Sporensuspension eines *Penicillium roqueforti* - Isolates wurden in 2 Weithalskolben mit Grassilagemedium pipettiert und der Kolben mit einem Pilzstopfen aerob verschlossen. Die beimpfte Grassilage wurde bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Nach 14 Tagen wurde die Inkubation und damit eventuell einhergehende Toxinbildung durch Einfrieren abgebrochen. Die Silagen wurden in den Weithalskolben belassen, bei -18°C gelagert und auf ihren Roquefortin C-Gehalt hin analysiert.

Herstellung der *Penicillium roqueforti*-Inokulate für die Laborsiliverversuche L 4 und L 5 (1997):

Von den beiden ausgewählten *Penicillium roqueforti*-Isolaten wurden Konidien auf jeweils 2 Nährböden (Malzextrakt-Agar / MERCK 1.05398) überimpft und 10 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Jede Petrischale wurde mit 10 ml Flüssigmedium überschichtet, die Koni-

dien mit einem Drigalski-Spatel abgeschabt und in einen sterilen Erlenmeyerkolben überführt. Mit der Sporensuspension von einem Isolat wurde je eine mit Nährmedium (Malzextrakt-Agar) ausgegossene Zellkulturflasche (900 ml) beimpft. Die Nährböden wurden 35 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert (abgedunkelt). Der in beiden Flaschen gewachsene Pilzrasen wurde mit jeweils 200 ml Flüssigmedium und sterilen Glasperlen überschichtet und durch kreisförmiges Schwenken der Flasche abgeschwemmt. Die Sporensuspension wurde in einen sterilen Erlenmeyerkolben überführt. Die gewonnene Menge betrug etwa 150 ml je Isolat. Die Anzahl an *Penicillium roqueforti* - Sporen wurde in der Thomakammer (0,1 mm Tiefe) und durch Keimzahlbestimmung festgestellt. Bis zur Verarbeitung in den Silierversuchen wurden die Inokulate bei 4°C gelagert, meist 1-3 Tage.

3.3.3 Methodenvergleich zur Beurteilung der aeroben Stabilität

Nach der Auslagerung wurde zur Beurteilung der aeroben Stabilität in den Grassilagen der Temperaturanstieg unter wärmeisolierten Bedingungen erfaßt. Parallel zur Messung des Temperaturanstiegs wurde bei ausgewählten Versuchsreihen der Sauerstoffverbrauch der ausgelagerten Silagen bestimmt. Beide angewandten Methoden erlauben eine kontinuierliche Datenerfassung. Sie unterscheiden sich jedoch in der Handhabung und den Investitionskosten. Mit dem Vergleich sollte untersucht werden, inwieweit die Methoden bei der Einschätzung der aeroben Stabilität der untersuchten Silagen in ihrer Aussage miteinander übereinstimmen bzw. voneinander abweichen.

Der Methodenvergleich wurde im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. durchgeführt. Von jeder Frischprobe der Silagen wurden für die Messung des Temperaturanstiegs je 2x 100 g T und bei Messung des Sauerstoffverbrauchs nochmals 2x 50 g T in abgedeckten Fotoschalen bei Raumtemperatur bis zur Verarbeitung (höchstens 2-4 h) gelagert. Die notwendige Frischmasse-Einwaage wurde auf der Grundlage des T-Gehaltes im Ausgangsmaterial ermittelt.

Messung des Temperaturanstiegs (AE-T):

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 7 schematisch dargestellt. Je 100 g T einer Silageprobe wurde zusammen mit je einer Tinytalk® II Datalogger-Thermistorsonde (ORION GR.) in zwei 1,5 l-Laborsilos (WECK®) gefüllt. In der Wandung jedes Silos befand sich etwa 2 cm über dem Boden ein Bohrloch (5 mm Ø). Jedes Laborsilo wurde mit handelsüblichen Wärmedämmplatten (5 cm stark) gegen die unmittelbare Umgebung sowie die anderen Silos wärmeisoliert und bis 7 Tage nach der Silageauslagerung bei 25°C Raumtemperatur gelagert. Das Abfließen von gebildetem Kohlendioxid aus der Silageprobe und der Gasaustausch mit der Umgebungsluft wurde durch Deckelöffnung (10 mm Ø) und Bohrloch im Silo sowie kleine Aussparungskanäle (5 mm Ø) in der Wärmedämmung gewährleistet. Von den Sonden wurde im Intervall von 2,4 h die Temperatur im Silo kontinuierlich gemessen und gespeichert. Der Intervall war frei wählbar von 1-16200 s. Im Versuchsraum wurde durch zwei Sonden ebenfalls die Temperatur erfaßt. Die gespeicherten Daten des Temperaturanstiegs wurden nach Abschluß der Messungen über eine Interfaceleitung von den Sonden in einen Standard-Personalcomputer übertragen und mit der Systemsoftware OTML (ORION GR.) ausgewertet.

Messung des Sauerstoffverbrauchs (AE-S):

Der Sauerstoffverbrauch der ausgelagerten Silagen wurde mit Hilfe eines automatisch arbeitenden BSB₅-Meßgerätesystems (digi[®], JOHANNA OTTO GmbH) gemessen. Jede der in diesem Gerätesystem vorhandenen Meßeinheiten ist ein in sich geschlossenes System und besteht aus 500 ml Probengefäß, Sauerstofferzeuger und Präzisionsmanometer, die in einem Klimaschrank temperiert werden. Durch den mikrobiellen Stoffwechsel in der Probe wird Sauerstoff zu Kohlendioxid veratmet. Das Kohlendioxid wird im Probengefäß an einen Absorber gebunden. Der entstandene Unterdruck induziert im Sauerstofferzeuger die elektrolytische Erzeugung von reinem Sauerstoff, was quantitativ (mg O₂/l) und kontinuierlich erfaßt wird.

Für die Messungen wurden von den Silagen jeweils 50 g T in zwei 500 ml BSB₅-Probengefäße gefüllt. Die Probengefäße wurden im Klimaschrank bei 25°C gelagert. Der Verbrauch von Sauerstoff wurde im Intervall von 2,0 h über den Zeitraum von 7 Tagen erfaßt und automatisch berechnet.

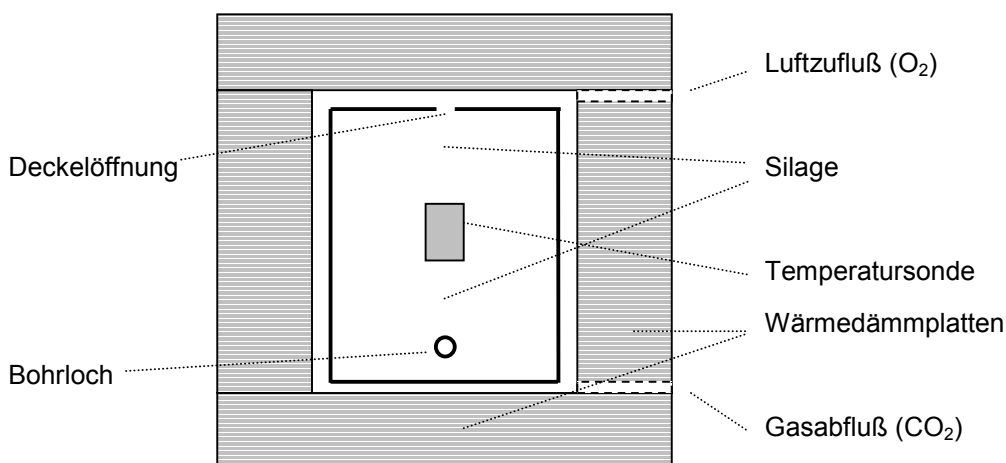


Abb. 7: Schema der Messung des Temperaturanstiegs zur Beurteilung der aeroben Stabilität

3.4 Verwendete Analysemethoden

3.4.1 Chemische Analytik

Trockenmasse:

Für die Ermittlung des Gehaltes an Trockenmasse im Ausgangsmaterial und den Silagen wurden je 4x ca. 400 g FM (bei Silagen aus Laborversuchen 4x ca. 200 g FM) eingewogen. Die Trockenmassebestimmung erfolgte durch Vortrocknung des Materials bei 60°C mit anschließender Endtrocknung für 9 h bei 105°C ohne Probenteilung zwischen den Trocknungsschritten. Bei Silagen wurde nachfolgend zur Erfassung von Trockenmasseverlusten während dieses Trocknungsverfahrens eine Korrektur nach folgender Gleichung vorgenommen [WEISSBACH und BERG, 1977]:

$$T_k = T_n + FFS(\%FM) + AL(\%FM) + NH_3(\%FM) + 0,08 \times MS(\%FM)$$

T_k = korrigierter T-Gehalt

T_n = nicht korrigierter T-Gehalt (nach Trocknung im Trockenschrank ermittelt)

FFS = Summe der Gehalte an flüchtigen Fettsäuren ($C_2 - C_6$) (hier: Essig- /Propion- /Buttersäure)

AL = Summe der Gehalte an einwertigen Alkoholen ($C_2 - C_4$) (hier: Ethanol / Propanol)

NH_3 = Gehalt an Ammoniak

MS = Gehalt an Milchsäure

Rohnährstoffe, Wasserlösliche Kohlenhydrate, Pufferkapazität, Nitrat:

Für die chemische Analytik wurde das bei -18°C gelagerte Probenmaterial wie folgt aufgearbeitet:

Zur Bestimmung von Parametern aus luftgetrocknetem Probenmaterial wurden 2x ca. 500 g FM (bei Silagen aus Laborversuchen 2x ca. 300 g FM) bei 60°C für 24 h getrocknet, auf 1 mm Siebdurchgang feingemahlen und in verschlossenen Weithalsflaschen (braun) bei $10-12^\circ\text{C}$ aufbewahrt.

Der Rohasche- und Rohproteingehalt im Ausgangsmaterial und den Silagen wurde im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. nach Standardmethoden ermittelt [VDLUFA, 1993]. Der Rohfasergehalt der Ausgangsmaterialien wurde in der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub mit einem Fibertec System bestimmt. In den Silagen wurde im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. technisch bedingt anstelle des Rohfasergehaltes der Rohcellulosegehalt ermittelt [NEHRING, 1969].

Im Ausgangsmaterial wurden der Nitratgehalt nach der Xylenol- und die wasserlöslichen Kohlenhydrate nach der Anthron-Methode bestimmt [VON LENDERKEN und ZIMMERMANN, 1991]. Die Pufferkapazität wurde durch Titration mit Milchsäure (0,2 N) ermittelt. Als Pufferkapazität wird dabei der Bedarf an Milchsäure (g MS/kg T) zur Ansäuerung von Grünfutter auf pH 4,0 bezeichnet.

pH-Wert, Milchsäure und flüchtige Fettsäuren, Ammoniak, Alkohole:

Für die Bestimmung des pH-Wertes und der Gehalte an Gärssäuren, Alkoholen und Ammoniak wurden 100 g FM mit 1 l Reinstwasser und 1 ml Toluol als Stabilisator versetzt und zur Kaltwasserextraktion 14-16 h bei 4°C stehen gelassen. Der Silageextrakt wurde über ein Faltenfilter grob filtriert.

Der pH-Wert wurde im grob filtrierten Silageextrakt elektrometrisch mit Hilfe eines pH-Meters und einer Einstabmeßelektrode bestimmt. Für die chromatographischen Messungen in der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub wurden Probengebergläschen befüllt. Hierzu wurde ein Aliquot des grob filtrierten Silageextraktes (50 ml) bei 3000 n/min für 5 min zentrifugiert und über ein Minisart-Einmalfilter ($0,45\ \mu\text{m}$) fein filtriert. Die fein filtrierten Silageextrakte wurden bis zur Verarbeitung bei -18°C gelagert. Die Quantifizierung von Milch-, Essig-, Propion- und n-Buttersäure erfolgte über Ionenausschluß-Chromatographie an einer HPIEC AS1 Säule (250 x 9 mm) mit gekoppelter Vorsäulenkartusche und Leitfähigkeitsdetektion mit Anionen-Mikromembransuppression. Isomere und höhere Homologe der Buttersäure wurden nicht bestimmt. Die Quantifizierung von Ammoniak

erfolgte über Ionenaustausch-Chromatographie als Ammonium-Ion (NH_4^+ -Ion) an einer Kationenaustauschssäule CS 12 (250 x 4 mm) mit Vorsäule und Leitfähigkeitsdetektion mit Kationen-Mikromembransuppression. Die Bestimmung der Gehalte an Ethanol und Propanol erfolgte über Gas-Chromatographie an einer Kapillarsäule FFAP (25 x 0,32 mm) mit Flammen-Ionisationsdetektion. Die Konzentration von Gärssäuren, Ammoniak, Ethanol und Propanol in den Silageproben wurde anhand von Eichreihen mit externen Standards berechnet. Die Ethanol- und Propanolkonzentrationen wurden als Alkoholgehalt addiert. Beispiel-Chromatogramme (Standardsubstanzen, Silagen) aus der Ionen-Chromatographie sind im Anhang in Abb. A 1 bis A 4 dargestellt.

3.4.2 Mikrobiologische Analytik

Die mikrobielle Analytik erfolgte überwiegend im Institut für Agrartechnik Bornim e.V. innerhalb von 4-6 h nach der Probenahme aus frischem, bei 4°C in sterilen Gefäßen gelagertem Probenmaterial.

Pilzkeimzahl:

Für die Pilzkeimzahl wurden von der Frischprobe 40 g Silage in einen Stomacher-Beutel eingewogen, mit 360 ml ¼-starker, steriler Ringerlösung suspendiert und 2 min im Stomacher extrahiert. Aus dem Extrakt (Verdünnungsstufe 10^{-1}) wurde in dezimalen Abständen eine Verdünnungsreihe (10^{-2} - 10^{-9}) erstellt. Das Herstellen der Anzuchtplatten erfolgte im Oberflächenkultur-Spatelverfahren. Von jeder Verdünnungsstufe wurden je 100 µl Extrakt auf einen Nährboden (Sabouraud-2% Glucose-Agar / MERCK 7315 / + 0,1 g/l Chloramphenicol) pipettiert und mit einem Drigalski-Spatel gleichmäßig verstrichen. Die Nährböden wurden 3-5 Tage bei Raumtemperatur aerob inkubiert. Danach wurde die Anzahl der Kolonien gezählt und die KBE/g FM ermittelt.

Milchsäurebakterienzahl:

Für die Milchsäurebakterienzahl wurde analog eine Verdünnungsreihe hergestellt bzw. es wurde dieselbe Verdünnungsreihe verwendet. Das Ausplattieren erfolgte im Oberflächenkultur-Droplatingverfahren. Von jeder Verdünnungsstufe wurden 3 Tropfen mit jeweils 50 µl Extrakt räumlich versetzt auf einen Nährboden (MRS-Agar / MERCK 1.10660 / + 0,04 % Sorbinsäure) pipettiert. Die Nährböden wurden 2 Tage bei 30°C im Brutschrank aerob inkubiert. Danach wurde die Anzahl der Kolonien gezählt und die KBE/g FM ermittelt.

Listerienzahl:

In den Praxissiliverversuchen P 2 bis P 5 wurden von Herrn Jens Hoffmann (INW) zusätzlich die Listerienzahlen ermittelt. Die angewandte Nachweismethode basiert auf § 35 LMBG [N.N., 1991].

3.4.3 Eigene Entwicklung und Modifikation von chemischen Methoden

Alle Arbeiten zur Ergosterin- und Roquefortinanalytik wurden in der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub durchgeführt. Sicherheitsvorschriften wurden beachtet [TAUCHMANN et al., 1972].

3.4.3.1 Bestimmung von Ergosterin

Zur Bestimmung von Ergosterin in Grünfütter und Grassilagen wurde folgende Methode entwickelt:

Herstellung von Standard-Lösungen:

100 mg Ergosterin-Standard (SIGMA) wurde auf einer Analysenwaage in einen 200 ml Meßkolben eingewogen, mit Ethanol bis zur Marke aufgefüllt und mittels Ultraschallbad vollständig aufgelöst. Die theoretische Konzentration der Ergosterin-Stammlösung (Lösung 1) betrug danach 500 µg/ml. Zur genauen Konzentrationsbestimmung wurden 20 ml der Lösung 1 genau 1 : 5 mit Ethanol verdünnt (Lösung 2). Mit einem UV / VIS-Spektralphotometer wurde unter Verwendung von Quarzküvetten die Extinktion bei 282 nm gemessen.

Die Berechnung der Ergosterin-Konzentration von Lösung 2 erfolgte nach der folgenden Formel (Lambert-Beer'sche Gleichung):

$$c = \frac{\Delta E \times MG \times 1000}{\epsilon \times d}$$

c = Ergosterin-Konzentration der Lösung 2 (µg/ml)

ΔE = Extinktion

MG = Molekulargewicht (396,67 g/mol)

ε = molarer Extinktionskoeffizient (11900 l x mol⁻¹ x cm⁻¹ bei 282 nm in Ethanol)

d = Schichtdicke der Quarzküvette (1 cm)

1000 = Umrechnungsfaktor (g/l → µg/ml)

Die exakte Konzentration C von Lösung 1 war entsprechend C = c x 5. Für die HPLC-Kalibrierung wurden danach jeweils 0,25 / 0,50 / 1,25 / 2,50 / 5,00 / 7,50 und 10,00 ml der Lösung 1 in 50 ml Meßkolben pipettiert und im Stickstoffstrom bei 40°C im Wasserbad bis zur Trockene eingedampft. Der Rückstand in den Meßkolben wurde mit HPLC-Laufmittel bis zur Marke aufgefüllt und mit Hilfe eines Ultraschallbades vollständig aufgelöst. Von diesen Kalibrier-Standardlösungen wurden jeweils 20 µl in die HPLC eingespritzt und eine Eichgerade ermittelt. Die Standardlösungen wurden ebenso wie die Lösung 1 bei 4°C gelagert. Die Lösung 1 wurde vor jeder Meßreihe bzw. jeden Monat neu hergestellt und photometrisch gemessen. Die Standardlösungen wurden jede Woche neu hergestellt.

Extraktion des Probenmaterials:

10 g der luftgetrockneten und feingemahlten Futtermittelprobe wurden in einen 250 ml Schliff-rundkolben eingewogen. Nach Zugabe von 75 ml methanolischer Kaliumhydroxid-Lösung (2,4 M) (135 g Kaliumhydroxid-Plätzchen wurden in einen 1000 ml Meßkolben eingewogen und vollständig in Methanol aufgelöst) und 50 ml Ethanol wurde die Probe im Reihewasserbad unter Rückfluß 30 min bei 80°C gekocht. Die Rundkolben wurden nach dem Kochen bis zum Abkühlen auf Raum-

temperatur mit einem Plast- oder Glasstopfen verschlossen. Während des Kochens und Abkühlens wurden Tefloneinsätze im Schliff verwendet. Die abgekühlte Probenlösung wurde über ein Faltenfilter in ein Becherglas filtriert. Ein geringer Probenrückstand konnte im Rundkolben verbleiben.

In einem Meßzylinder wurde ein Aliquot des Filtrats (50 ml) abgemessen und quantitativ in einen 500 ml Scheidetrichter überführt; der Meßzylinder wurde 2x mit je 50 ml Reinstwasser nachgespült. Die vereinten Phasen (50 ml Probenaliquot und 100 ml Reinstwasser) wurden unter leichtem Schütteln des Scheidetrichters mit 8 ml Salzsäure (25%ig) neutralisiert. Anschließend wurde die leicht alkalische Lösung mit 50 ml n-Hexan ca. 30 Sekunden ausgeschüttelt, wobei vor allem zu Beginn der Scheidetrichter zwischendurch entlüftet wurde. Das Abmessen des n-Hexan erfolgte generell in dem Meßzylinder, der schon für das jeweilige Probenaliquot verwendet wurde. Nach der Phasentrennung (ca. 5-10 min) wurde die untere leicht alkalische Phase in ein neues Becherglas abgelassen und die obere, ergosterinhaltige n-Hexan-Phase über Natriumsulfat-Decahydrat (etwa 2 Spatellöffel im Faltenfilter) in einen 250 ml Schliff Rundkolben abfiltriert.

Die alkalische Phase wurde wieder in den Scheidetrichter überführt und das verwendete Becherglas mit 40 ml n-Hexan nachgespült. Mit diesen 40 ml n-Hexan wurde danach die alkalische Phase noch einmal ca. 20 Sekunden ausgeschüttelt. Nach der Phasentrennung wurde die untere Phase abgelassen und die obere n-Hexan-Phase wiederum in den Schliff Rundkolben abfiltriert (siehe oben). Das Faltenfilter mit Natriumsulfat-Decahydrat wurde mit 10 ml n-Hexan nachgewaschen. Die vereinten n-Hexan-Filtrate wurden am Vakuum-Rotationsverdampfer bei 40°C Badtemperatur auf ca. 1 ml eingengt. Der Schliff Rundkolben mit dem Probenextrakt wurde mit einem Stopfen verschlossen und bis zur HPLC-Bestimmung bei 4°C gelagert, meist 1-3 Tage. Der Ergosteringehalt der Probenextrakte blieb während dieser Zeit nahezu konstant.

Kurz vor der HPLC-Bestimmung wurde der Probenextrakt im Stickstoffstrom bei 40°C im Wasserbad bis zur Trockene eingengt und der Rückstand in 4 ml HPLC-Laufmittel (n-Hexan / 2-Propanol, 98 : 2, v / v) mit Hilfe eines Ultraschallbades vollständig aufgelöst. Der Probenextrakt wurde in 2 Eppendorf-Reaktionsgefäße (2 ml) überführt und 2 min in einer Mikroliter-Zentrifuge bei 15000 n/min zentrifugiert. Von der überstehenden Lösung wurden jeweils 1,5 ml in 2 Probengebergläschen überführt und in der HPLC gemessen. Das am Vakuum-Rotationsverdampfer abrotierte n-Hexan wurde getrennt gesammelt, rückdestilliert und wiederverwendet.

Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC (spezielle Geräte / Trennbedingungen):

Pumpe L6200, UV-Detektor L4000, MERCK HITACHI; Autosampler Typ 231 BIO GILSON mit Dilutor 401, ABIMED; Chromatographiedatensystem GynkoSoft V5.50, SOFTRON.

HPLC-Säule: LiChrosorb Si 60, 5 µm, 250 x 4,6 mm, MERCK;

Eluent: n-Hexan / 2-Propanol (98 : 2, v / v);

Flußrate: 1,5 ml/min;

Detektion: UV 282nm.

Die HPLC wurde im isokratischen Trennlauf und bei Raumtemperatur durchgeführt. Zur Ergosterin-Identifizierung wurden die Retentionszeiten und Peakformen der Substanzen in den Probenextrakten mit denen der Ergosterin-Standardlösung verglichen. Die Retentionszeit für Ergosterin lag bei ca. 8,1 min. Die Berechnung des Ergosteringehaltes im Probenextrakt erfolgte anhand der Eichgeraden, wobei die Fläche des Ergosterin-Peaksignals ausgewertet wurde. Von den Probenextrakten wurden jeweils 20 µl eingespritzt. Bei Konzentrationen oberhalb des Eichbereiches wurden die Messungen mit entsprechender Verdünnung wiederholt. Die Erfassungsgrenze der gesamten Methode zum Nachweis von Ergosterin in Grassilagen lag bei 0,5 mg ERG/kg T. Der Ergosteringehalt der Futtermittelproben wurde auf deren Trockenmassegehalt bezogen.

Die beschriebene Methode wurde neben Grünfutter und Grassilagen auch bei Futtermitteln wie Getreideganzpflanzen- und Maissilagen sowie Getreide angewendet. Beispiel-Chromatogramme (Standardsubstanz, Grünfutter, Silagen, Getreide) sind im Anhang in Abb. A 5 bis A 9 dargestellt.

Bestimmung der Wiederfindungsrate in verschiedenen Futtermitteln:

Bei fünf verschiedenen Futtermittelproben wurde der Ergosteringehalt ohne und mit Addition von 10 mg Ergosterin-Standard /kg Trockenmasse ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 und die entsprechenden Chromatogramme einer Futtermittelprobe in Abb. A 10 und A 11 dargestellt.

Tab. 4: Wiederfindungsrate von Ergosterin in verschiedenen Futtermitteln

Futtermittel	Ergosterin (gemessen)	σ^1	Ergosterin (berechnet)	Ergosterin (gemessen)	σ^1	Wiederfindung
	mg/kg T	(n=6)	mg/kg T	mg/kg T	(n=6)	%
	Istwert ohne Addition: oA		Sollwert bei Addition: oA + 10 mg ERG/kg T	Istwert bei Addition: mA		Formel für die Be- rechnung: mA / (oA+10) x 100
Grassilage	251,96	1,79	261,96	276,76	2,15	105,65
Grassilage	158,51	1,41	168,51	176,11	2,21	104,51
Weizen-GPS ²⁾	55,04	1,82	65,04	61,34	2,14	94,30
Maissilage	33,17	1,04	43,17	39,58	0,45	91,68
Weizen	7,49	0,09	17,49	15,21	0,37	86,94

¹⁾ – Standardabweichung; ²⁾GPS - Ganzpflanzensilage

3.4.3.2 Bestimmung von Roquefortin C

Zur Bestimmung von Roquefortin C in Grassilagen wurde eine von ARMBRUSTER beschriebene Methode modifiziert [ARMBRUSTER, 1994]:

Herstellung von Standard-Lösungen:

5 mg Roquefortin C-Standard (SIGMA) wurde in einen 10 ml Meßkolben überführt, mit Methanol bis zur Marke aufgefüllt und mittels Ultraschallbad vollständig aufgelöst. Die theoretische Konzentration der Roquefortin-Stammlösung (Lösung 1) betrug danach 500 µg/ml. Zur genauen Konzentrationsbestimmung wurde 1 ml der Lösung 1 genau 1 : 10 mit Methanol verdünnt (Lösung 2). Mit einem UV / VIS-Spektralphotometer wurde unter Verwendung von Quarzküvetten die Extinktion bei 325 nm gemessen.

Die Berechnung der Roquefortin-Konzentration von Lösung 2 erfolgte nach der folgenden Formel (Lambert-Beer'sche Gleichung):

$$c = \frac{\Delta E \times MG \times 1000}{\epsilon \times d}$$

c = Roquefortin-Konzentration der Lösung 2 (µg/ml)

ΔE = Extinktion

MG = Molekulargewicht (389,18 g/mol)

ε = molarer Extinktionskoeffizient (26300 l x mol⁻¹ x cm⁻¹ bei 325 nm in Methanol)

d = Schichtdicke der Quarzküvette (1 cm)

1000 = Umrechnungsfaktor (g/l → µg/ml)

Die exakte Konzentration C von Lösung 1 war entsprechend C = c x 10. Für die HPLC-Kalibrierung wurden danach von der Lösung 1 je 50 µl in einen 200ml und einen 20 ml, je 250 µl in einen 20 ml und einen 10 ml sowie je 500 µl in einen 10 ml und einen 5 ml Meßkolben pipettiert und im Stickstoffstrom bei 40°C im Wasserbad bis zur Trockene eingedampft. Der Rückstand in den Meßkolben wurde mit HPLC-Laufmittel bis zur Marke aufgefüllt und mit Hilfe eines Ultraschallbades vollständig aufgelöst. Von diesen Kalibrier-Standardlösungen wurden jeweils 20 µl in die HPLC eingespritzt und eine Eichgerade ermittelt. Die Standardlösungen wurden bei -18°C aufbewahrt und alle 2 Wochen neu hergestellt. Die Lösung 1 wurde bis zum endgültigen Verbrauch bei -18°C gelagert.

Extraktion des Probenmaterials:

5 g der luftgetrockneten und gemahlenen Futtermittelprobe wurden in eine 200 ml Weithalsflasche (handelsübliche Säuglingsflasche) eingewogen, mit 50 ml Natriumhydrogencarbonat-Lösung (3%ig) vermischt und der pH-Wert der Aufschlämmung durch Zugabe von Natriumhydroxid-Lösung (1N) (40 g Natriumhydroxid-Plätzchen wurden in einen 1000 ml Meßkolben eingewogen und vollständig in Reinstwasser aufgelöst) auf pH 12 eingestellt. Nach sofortiger Zugabe von 100 ml Ethyl-

acetat und Verschuß mit einem Silikonstopfen erfolgte eine 30-minütige Extraktion bei 180 n/min auf einem Laborschüttler. Anschließend wurde die obere Ethylacetat-Phase bei 3000 n/min für 10 min zentrifugiert, ein Aliquot (40 ml) der Ethylacetat-Phase quantitativ in einen 500 ml Scheidetrichter überführt und mit 40 ml Salzsäure (0,01N) ca. 30 Sekunden ausgeschüttelt.

Nach der Phasentrennung (ca. 5-10 min) wurde die untere Salzsäure-Phase in einem zweiten 500 ml Scheidetrichter aufgefangen und das Ausschütteln mit nochmals 40 ml Salzsäure (0,01N) wiederholt. Die beiden Salzsäure-Phasen wurden in dem zweiten Scheidetrichter vereint, durch Zugabe von 40 ml Natriumhydrogencarbonat-Lösung (3%ig) neutralisiert und mit 50 ml Natriumhydroxid-Lösung (1N) stark alkalisiert. Diese alkalische Phase wurde sofort mit 50 ml Ethylacetat ca. 30 Sekunden ausgeschüttelt. Nach der Phasentrennung (ca. 5-10 min) wurde die obere Ethylacetat-Phase mit einer Pipette abgehoben und in einen 100 ml Schliffgrundkolben überführt.

Das Ausschütteln wurde noch zweimal mit 30 ml bzw. 10 ml Ethylacetat wiederholt. Die vereinten Ethylacetat-Phasen wurden am Vakuum-Rotationsverdampfer bei 40°C Badtemperatur bis zur Trockene eingeeengt. Der Schliffgrundkolben mit dem Probenextrakt - Rückstand wurde mit einem Stopfen verschlossen und bis zur HPLC-Analyse bei -18°C gelagert, meist 3-5 Tage. Der Gehalt an Roquefortin in den Rückständen blieb während dieser Zeit nahezu konstant.

Kurz vor der HPLC-Bestimmung wurde der Probenextrakt - Rückstand in 2 ml HPLC-Laufmittel (Methanol / Reinstwasser, 70 : 30, + 5,75 g/l Ammoniumdihydrogenphosphat) mit Hilfe eines Ultraschallbades vollständig aufgelöst, in ein Eppendorf-Reaktionsgefäß (2 ml) überführt und 2 min in einer Mikroliter-Zentrifuge bei 15000 n/min zentrifugiert. Von der überstehenden Lösung wurden jeweils ca. 0,8 ml in 2 Probengebergläschen überführt und in der HPLC gemessen.

Das am Vakuum-Rotationsverdampfer abrotierte Ethylacetat wurde getrennt gesammelt, destilliert und wiederverwendet. Um eine durch das alkalische Milieu bedingte Instabilität von Roquefortin C während der Extraktion zu vermeiden, wurden maximal 3 Proben gleichzeitig extrahiert.

Bei der Untersuchung des Toxinbildungsvermögens der isolierten Pilzkulturen (Kap. 3.3.2) wurde versuchstechnisch bedingt der gesamte Versuchsansatz einer Kultur als Probe angesehen und extrahiert. Die Veränderungen gegenüber der oben beschriebenen Extraktion sind:

Die eingefrorene Frischprobe (100 g beimpfte Silage in einem 1000 ml Weithalskolben) wurde 16 h bei 4°C aufgetaut, mit 250 ml Natriumhydrogencarbonat-Lösung (3%ig) vermischt und der pH-Wert der Aufschlämmung durch Zugabe von Natriumhydroxid-Lösung (1N) (ca. 100 ml) auf pH 12 eingestellt. Nach sofortiger Zugabe von 250 ml Ethylacetat erfolgte eine 30-minütige Extraktion bei 180 n/min auf einem Laborschüttler. Anschließend wurde die obere Ethylacetat-Phase bei 3000 n/min für 10 min zentrifugiert, ein Aliquot (100 ml) der Ethylacetat-Phase quantitativ in einen 500 ml Scheidetrichter überführt und mit 40 ml Salzsäure (0,01N) ca. 30 Sekunden ausgeschüttelt. Alle weiteren Aufarbeitungsschritte erfolgten analog der oben beschriebenen Extraktion.

Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC (spezielle Geräte / Trennbedingungen):

Pumpe L6200, UV-Detektor L4000, MERCK HITACHI; Autosampler Typ 231 BIO GILSON mit Dilutor 401, ABIMED; Chromatographiedatensystem GynkoSoft V5.50, SOFTRON.

HPLC-Säule: LiChrospher 100 RP 18, 5 µm, 250 x 4 mm, MERCK;

Vorsäule: LiChrospher 100 RP 18, 5 µm, 25 x 4 mm, MERCK;

Eluent: Methanol / Reinstwasser (70 : 30) + 5,75 g/l Ammoniumdihydrogenphosphat;

Flußrate: 1,0 ml/min;

Detektion: UV 328 nm.

Die HPLC wurde im isokratischen Trennlauf und bei Raumtemperatur durchgeführt. Zur Roquefortin-Identifizierung wurden die Retentionszeiten und Peakformen der Substanzen in den Probenextrakten mit denen der Roquefortin-Standardlösung verglichen. Die Retentionszeit für Roquefortin C lag bei ca. 7,9 min. Die Berechnung des Gehaltes an Roquefortin im Probenextrakt erfolgte anhand der Eichgeraden, wobei die Fläche des Roquefortin-Peaksignals ausgewertet wurde. Von den Probenextrakten wurden jeweils 20 µl eingespritzt. Bei Konzentrationen oberhalb des Eichbereiches wurden die Messungen mit entsprechender Verdünnung wiederholt. Die Erfassungsgrenze der gesamten Methode zum Nachweis von Roquefortin C in Grassilagen lag bei 0,05 mg ROF/kg T. Der Roquefortin C-Gehalt der Futtermittelproben wurde auf deren Trockenmassegehalt bezogen. Beispiel-Chromatogramme (Standardsubstanz, Silagen mit und ohne Roquefortin C-Gehalt) sind in Abb. A 12 bis A 14 dargestellt.

Bestimmung der Wiederfindungsrate:

Bei einer Grassilageprobe wurde der Roquefortin C-Gehalt ohne und mit Addition von 3 unterschiedlichen Mengen Roquefortin C ermittelt (0,13 / 3,20 / 50,00 mg Roquefortin C-Standardsubstanz/kg Trockenmasse). Die Ergebnisse sind in Tab. 5 und entsprechende Chromatogramme in Abb. A 15 und A 16 dargestellt.

Tab. 5: Wiederfindungsrate von Roquefortin C in Grassilage

Roquefortin C-Addition mg/kg T	Roquefortin (gemessen) mg/kg T	σ^1 (n = 6)	Roquefortin (berechnet) mg/kg T	Roquefortin (gemessen) mg/kg T	σ^1 (n = 6)	Wiederfindung %
Spike (Sp)	Istwert ohne Addition: oA		Sollwert bei Addition: oA + Spike	Istwert bei Addition: mA		Formel für die Berechnung: mA / (oA+Sp) x 100
0,13	0,00	0,00	0,13	0,10	0,01	78,85
3,20	0,00	0,00	3,20	2,86	0,08	89,38
50,00	0,00	0,00	50,00	42,54	0,79	85,07

¹⁾ – Standardabweichung

4. Ergebnisse

4.1 Praxissilierversuche

Das Grünfutter wurde bei allen Silierversuchen in einem relativ späten Schnitzeitpunkt geerntet. Der Rohfasergehalt im Siliergut war jedoch mit 242 bis 297 g/kg T in einem überwiegend normal verdichtbaren Bereich. Die Rundballen (R) waren für das angewandte Preßverfahren als normal bis gut verdichtet einzuschätzen. Die infolge kürzerer Häcksellängen ca. 10-15 % höher verdichteten Rundballen (RS) konnten für dieses Preßverfahren als gut bis sehr gut verdichtet eingeschätzt werden. In den Compactrollen (C) wurden als hochverdichtet einschätzbare Grassilagen erzeugt. Besondere Schwierigkeiten bei der Probenahme führten dazu, daß auch die bezüglich der Gärqualität beurteilten Proben teilweise verschimmelte Silage enthielten. Die Einflußfaktoren auf Gärqualität und Pilzwachstum konnten dadurch nicht eindeutig getrennt voneinander untersucht werden.

4.1.1 Gärqualität

Durch verschiedene Welkzeiten sowie Witterungseinflüsse variierte der T-Gehalt im Siliergut zwischen 322 und 637 g/kg. Die Milchsäurebakterienzahl lag mit Werten unterhalb 30000 KBE/g FM im normalen Bereich. Das Siliergut war nahezu nitratfrei. Die nach einer Silagelagerung von 4 bis 6 Monaten erreichte Gärqualität wird in den Tab. 6 bis 10 dargestellt. Bei jedem Versuch wurden jeweils die Auslagerungstermine ausgewählt, an denen weitgehend 2 Ballen je Variante verfügbar waren. Die Versuche werden in der Reihenfolge ihrer Durchführung dargestellt. Die Beurteilung der Gärqualität erfolgte nach dem 1992 vorgeschlagenen DLG-Bewertungsschlüssel mit den aktuellen Änderungen von 1997 zur Bewertung niedriger Essigsäuregehalte [WEISSBACH und HONIG, 1992; WEISSBACH und HONIG, 1997]. Der DLG-Schlüssel (1992 / 1997) ist in Tab. A 3 dargestellt.

In **Versuch P 1** wurde ein für die Ballensilierung sehr hoher T-Gehalt (637 g/kg) im Grünfutter erzeugt. Das Siliergut war bei einem Vergärbarkeitskoeffizient von 85 als gut vergärbar einzuschätzen. Wegen der geringen Wasseraktivität war nur eine geringe Fermentation zu erwarten. Wie aus Tab. 6 hervorgeht, waren bei den erzeugten 12 Silageballen nach 4 Monaten Lagerung die Gehalte an Gärprodukten generell sehr niedrig. Auf eine grafische Darstellung vor allem des Buttersäuregehaltes wird daher verzichtet. Die Silagen waren frei von Buttersäure und die Ammoniakgehalte sehr niedrig. Gemessen daran wurde in den Silagen eine gute Gärqualität erreicht. Die schlechten Noten nach dem DLG-Schlüssel sind vor allem auf die ungewöhnlich hohen pH-Werte zurückzuführen. Diese lassen auf einen teilweise starken Pilzbefall infolge Lufteinfluß verbunden mit nachträglichem Milchsäureabbau und pH-Wert-Anstieg bei den Silagen schließen. Der Punktabzug für niedrige Essigsäuregehalte führte ganz allgemein zu einer weiteren Abwertung der Gärqualität.

Das gleichmäßige Vorgehen bei der Probenahme bedingte, daß bei Vorhandensein von Schimmel in den Probenahmezonen auch anteilig verschimmelte Silage in die jeweilige Probe gelangte. Nach

der Probenahme wurde keine Klassifizierung der Proben bezüglich Pilzbefall mehr vorgenommen. Die chemischen Analysen zur Beurteilung der Gärqualität wurden bei allen Silageproben einheitlich durchgeführt. Die hohen pH-Werte können als das Ergebnis eines hohen Anteils verschimmelter Silage in den jeweiligen Proben bzw. in den entsprechenden Entnahmezonen angesehen werden. Dieser tendenzielle Zusammenhang ist z.B. aus der Beziehung zwischen Pilzkeimzahl und pH-Wert in den Silagen von Versuch P 1 ersichtlich (Abb. 8). Bei den anderen Versuchen traten ähnliche Zusammenhänge auf. Sie waren jedoch weniger deutlich und werden nicht extra dargestellt.

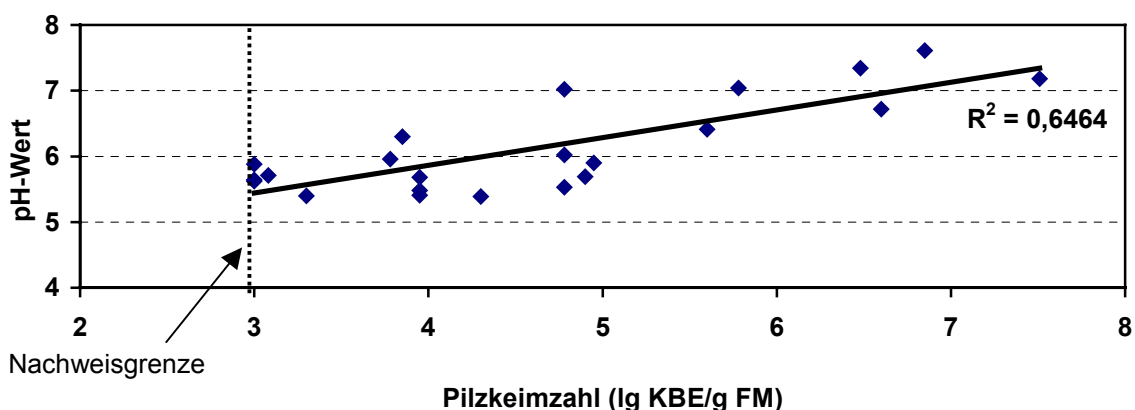


Abb. 8: Versuch P 1 - Beziehung zwischen Pilzkeimzahl (lg) und pH-Wert in den Silagen

Tab. 6: Versuch P 1 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 4 Monaten Lager (n = 2)

LDI	SZ	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG		SCHI
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	No- te	% ¹⁾
R	Ra	2 F	189	627,8	7,26	3,9	0,5	0,2	1,4	n.n.	0,6	2,2	25	5	>10 ²⁾
		4 F	179	639,3	6,66	2,9	0,8	0,1	1,2	0,9	0,9	3,2	25	5	5-10
		6 F	187	611,7	6,34	5,2	0,5	0,1	1,5	1,4	0,8	2,8	30	5	5-10
	Ke	2 F	189	629,4	5,65	6,5	0,9	n.n.	0,8	3,0	0,3	1,1	45	4	5-10
		4 F	179	646,9	5,56	4,7	0,9	0,1	0,9	2,7	0,4	1,7	50	4	< 5
		6 F	187	613,0	5,56	3,7	0,9	0,2	0,5	5,4	0,3	1,3	50	4	< 5
C	Ra	2 F	342	635,2	7,33	7,7	0,7	n.n.	0,8	n.n.	0,7	2,1	25	5	>10 ²⁾
		4 F	306	647,1	6,22	4,3	0,6	0,1	0,9	3,7	0,6	1,8	30	5	5-10
		6 F	331	675,8	5,65	4,4	0,9	n.n.	0,6	3,4	0,3	1,1	45	4	0
	Ke	2 F	342	639,2	5,61	7,0	1,4	n.n.	0,8	5,8	0,4	1,6	45	4	< 5
		4 F	306	646,3	5,65	4,2	0,8	0,2	1,1	4,1	0,4	1,3	45	4	< 5
		6 F	331	675,6	5,54	4,0	0,7	0,4	0,6	3,2	0,3	1,3	50	4	0

¹⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ²⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

Bei einem äußeren Luftabschluß von 2 und 4 Folienlagen wurden in den Randzonen aller Silagen infolge der auch visuell starken Verschimmelung relativ hohe pH-Werte festgestellt. Die Silagen waren daher teilweise als fütterungsuntauglich einzuschätzen. Durch die Erhöhung von 4 auf 6 Folienlagen wurde in den Rundballensilagen (R) keine erkennbare Verbesserung erzielt. In den Compactrollensilagen (C) dagegen waren ab 6 Folienlagen hinsichtlich der Gärqualität keine wesentlichen Unterschiede zwischen Rand- und Kernzone mehr erkennbar. In diesen Silagen bestanden bezüglich des Porenvolumens gegenüber den Rundballen anscheinend nur relativ geringe Unterschiede zwischen Rand- und Kernzone. Erst auf Grundlage einer hohen Lagerungsdichte konnte durch die Erhöhung der äußeren Luftabschlußgüte ein ausreichender Luftabschluß erzielt werden. Die trotzdem schlechte Benotung der Gärqualität dieser Silagen nach dem DLG-Schlüssel ist vor allem auf den Punktabzug für niedrige Essigsäuregehalte zurückzuführen. Die Frage, inwieweit wegen niedriger Essigsäuregehalte die Gärqualität negativ zu werten ist bzw. ein Punktabzug in diesem Zusammenhang gerechtfertigt ist, wird in der Literatur kritisch diskutiert [KAISER et al., 1998].

Tab. 7: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 6 Monaten Lager (n = 2)

LDI	SZ	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG		SCHI
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	No- te	% ¹⁾
R	Ra	2 F	177	497,9	6,93	5,5	9,9	0,7	6,2	1,2	4,2	11,7	15	5	>10 ²⁾
		4 F	158	541,3	5,73	5,2	0,7	0,3	3,1	8,7	0,9	3,1	40	4	5-10
		6 F	187	479,5	5,16	35,0	9,1	0,7	4,9	3,5	3,6	9,7	60	3	5-10
		8 F	184	461,4	6,02	18,4	13,7	1,8	9,1	13,4	3,9	11,8	25	5	< 5
	Ke	2 F	177	512,6	5,75	2,5	5,4	1,3	9,5	3,5	3,3	10,6	25	5	>10 ²⁾
		4 F	158	547,0	5,47	1,9	1,7	1,7	3,2	6,6	1,0	3,3	45	4	< 5
		6 F	187	468,9	6,43	4,2	9,8	3,3	23,0	4,4	4,8	13,6	- 5	5	< 5
		8 F	184	473,0	5,84	3,9	6,4	1,6	9,6	6,0	2,9	8,0	25	5	0
C	Ra	2 F	327	470,5	5,83	3,3	10,9	1,5	6,2	1,7	4,3	16,2	25	5	>10 ²⁾
		4 F	298	469,5	5,09	14,3	3,4	0,6	6,3	2,9	2,0	6,6	55	3	< 5
		6 F	306	501,7	5,06	14,0	2,5	0,3	3,0	8,2	1,6	5,0	70	3	0
		8 F	289	490,7	4,63	40,6	5,9	0,1	2,2	6,6	2,3	6,7	85	2	0
	Ke	2 F	327	475,8	5,24	25,8	4,0	0,7	7,2	2,6	2,6	7,8	40	4	< 5
		4 F	298	465,9	4,87	17,8	3,4	0,5	6,3	5,0	1,5	4,7	60	3	0
		6 F	306	498,7	4,86	9,0	1,3	0,2	1,8	7,0	1,6	4,9	75	2	0
		8 F	289	475,6	4,80	17,4	2,7	n.n.	3,0	7,0	1,6	5,1	75	2	0

¹⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ²⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

In **Versuch P 2** lag ein für die Ballensilierung normaler T-Gehalt (472 g/kg) im Ausgangsmaterial vor. Das Siliergut war mit einem Vergärbarkeitskoeffizient von 69 als gut vergärbar einzuschätzen. Insgesamt wurden 32 Silageballen erzeugt und nach einer gestaffelten Lagerungsdauer geöffnet. Trotz der guten Vergärbarkeit des Ausgangsmaterials konnte bei den normalverdichteten Rundballensilagen (R) nach 6 Monaten Lagerung (Tab. 7) zumeist nur eine sehr schlechte bis schlechte Gärqualität mit stellenweise hohen Buttersäuregehalten festgestellt werden. Die Anzahl der Folienlagen hatte darauf offensichtlich keinen gerichteten Einfluß genommen. Es ist anzunehmen, daß auch bei relativ hoher äußerer Luftabschlußgüte sowohl im Rand- als auch Kernbereich der Silagen keine ausreichend anaeroben Silierbedingungen vorlagen. In den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) dagegen wurden bereits ab 4 Folienlagen eine mittelmäßige Gärqualität sowie nur noch geringfügige Unterschiede zwischen Rand- und Kernzonen registriert. Bei weiterer Erhöhung der äußeren Luftabschlußgüte auf 6 und 8 Folienlagen konnten in Rand- und Kernzonen nahezu einheitliche und dabei weitgehend buttersäurefreie Silagen mit guter Gärqualität erzielt werden.

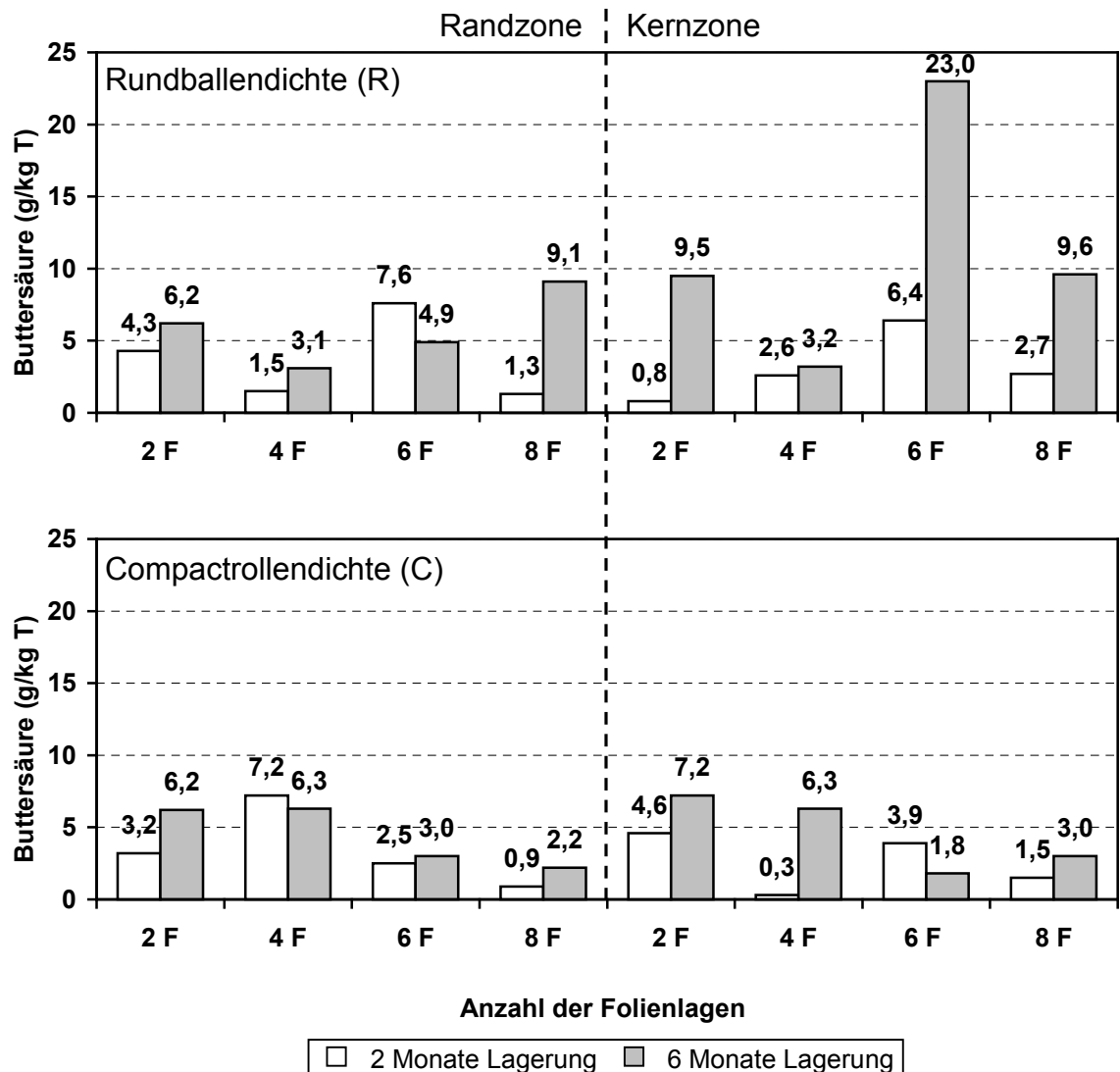


Abb. 9: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)

Es ist anzunehmen, daß in den Rundballensilagen während der Lagerung bei allen Varianten der Folienlagenzahl die Lufteinwirkung nicht auf den Rand beschränkt blieb sondern den Kern mit erfaßt hat. Darauf deuten vor allem die Unterschiede im Gärverlauf zwischen normal- und hochverdichteten Silagen in Versuch P 2 hin, die in Abb. 9 am Beispiel der Entwicklung der Buttersäuregehalte nach einer Lagerungsdauer von 2 und 6 Monaten deutlich werden. In den normalverdichteten Rundballensilagen wurden sowohl in den Rand- als auch den Kernzonen selbst bei hoher äußerer Luftabschlußgüte stellenweise sehr hohe Buttersäuregehalte festgestellt. Bei den hochverdichteten Compactrollensilagen dagegen konnte die Buttersäurebildung ab einer äußeren Luftabschlußgüte von 6 Folienlagen eingeschränkt werden. Daraus kann geschlußfolgert werden, daß hinsichtlich der Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses die Lagerungsdichte gegenüber der äußeren Luftabschlußgüte primären Charakter besitzt. Offenbar waren unabhängig von der äußeren Luftabschlußgüte bei der Dichte in den Compactrollen im Vergleich zur Dichte in den Rundballen für die Fermentation und Lagerung der Silagen allgemein günstigere anaerobe Bedingungen gegeben.

Tab. 8: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 6 Monaten Lager (n = 1-2)

LDI	SZ	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG		SCHI
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	No- te	% ¹⁾
R	Ra	2 F	n.v.												
		4 F	176	329,3	6,34	2,6	5,5	n.n.	12,8	5,2	5,8	17,8	- 5	5	>10 ²⁾
		6 F	186	338,8	5,73	6,1	6,2	0,7	12,2	17,0	4,6	17,1	10	5	5-10
		8 F	181	318,4	5,36	6,9	12,5	0,4	3,9	7,4	2,4	8,7	55	3	5-10
	Ke	2 F	n.v.												
		4 F	176	330,6	5,48	5,6	6,1	n.n.	13,0	10,0	3,4	11,4	20	5	< 5
		6 F	186	340,0	5,40	32,0	6,3	1,2	10,2	18,5	5,8	21,8	15	5	< 5
		8 F	181	322,7	5,59	7,4	6,7	0,6	14,4	13,6	3,9	14,1	10	5	< 5
C	Ra	2 F	306	334,4	5,20	19,6	13,9	0,2	6,4	9,0	2,9	9,4	50	4	>10 ²⁾
		4 F	326	327,3	4,67	34,1	6,8	n.n.	5,1	11,3	2,9	9,1	65	3	0
		6 F	320	340,5	4,69	34,5	5,2	n.n.	3,1	9,5	2,7	7,6	75	2	0
		8 F	321	321,5	5,15	28,3	7,0	0,2	7,6	12,3	4,4	14,0	35	4	0
	Ke	2 F	306	335,7	5,17	20,0	6,1	1,3	14,8	11,0	3,4	11,4	25	5	< 5
		4 F	326	328,8	5,09	28,2	5,5	0,7	10,5	10,8	3,0	8,9	40	4	0
		6 F	320	341,1	5,10	31,1	4,1	0,2	4,3	10,7	2,9	8,5	50	4	0
		8 F	321	320,6	4,97	41,0	5,8	0,5	7,1	10,9	3,6	11,6	45	4	0

¹⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ²⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

In **Versuch P 3** wurde ein für die Anwelksilierung relativ geringer T-Gehalt (322 g/kg) im Siliergut erzeugt. Das Grünfutter wies einen Vergärbarkeitskoeffizient von 42 auf und war als unzureichend vergärbar einzuschätzen. Stabile Silagen waren unsicher bzw. konnten nicht erwartet werden. Aufgrund des geringeren Futterertrages beim 3. gegenüber dem 1. Aufwuchs konnten nur 23 Silageballen erzeugt und eine Variante (Rundballen / 2 Folienlagen) nicht angelegt werden. Nach 6 Monaten Lagerung (Tab. 8) wurde bei allen Silagen überwiegend eine sehr schlechte bis schlechte Gärqualität festgestellt. Unabhängig von Verdichtung und Folienlagenzahl waren die Silagen generell buttersäurehaltig. Die nach 6 gegenüber 2 Monaten Lagerung (Abb. 10) teilweise niedrigeren Buttersäuregehalte sind wahrscheinlich auf die besonderen Schwierigkeiten bei der Probenahme zurückzuführen. Die hochverdichteten Compactrollensilagen (C) wiesen gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) tendenziell geringere Buttersäure- sowie Ammoniakgehalte auf. Darüber hinaus lagen die Milchsäuregehalte (Abb. 11) in den Compactrollensilagen gegenüber den Milchsäuregehalten in den Rundballensilagen meist auf einem auffallend höheren Niveau.

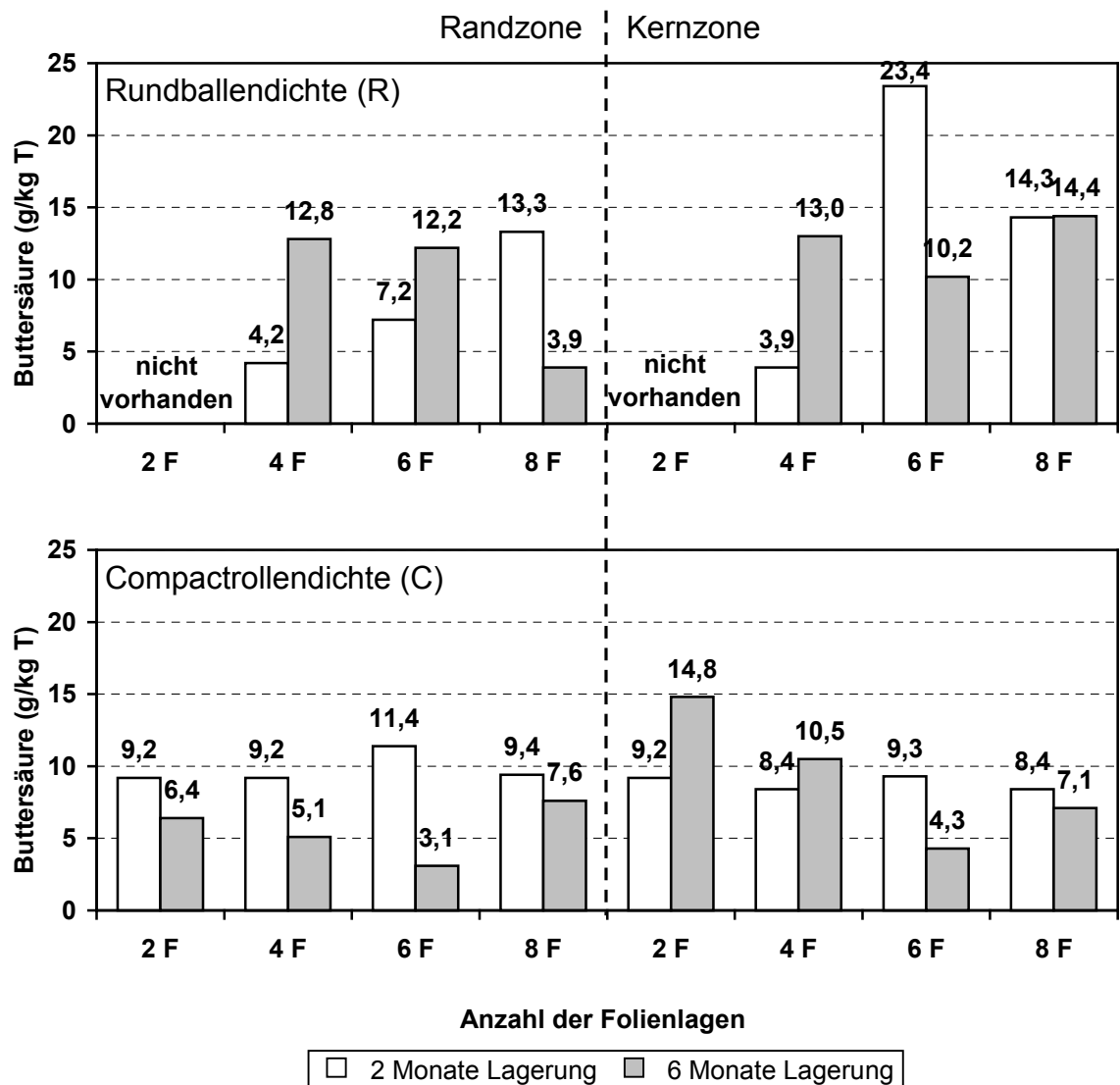


Abb. 10: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

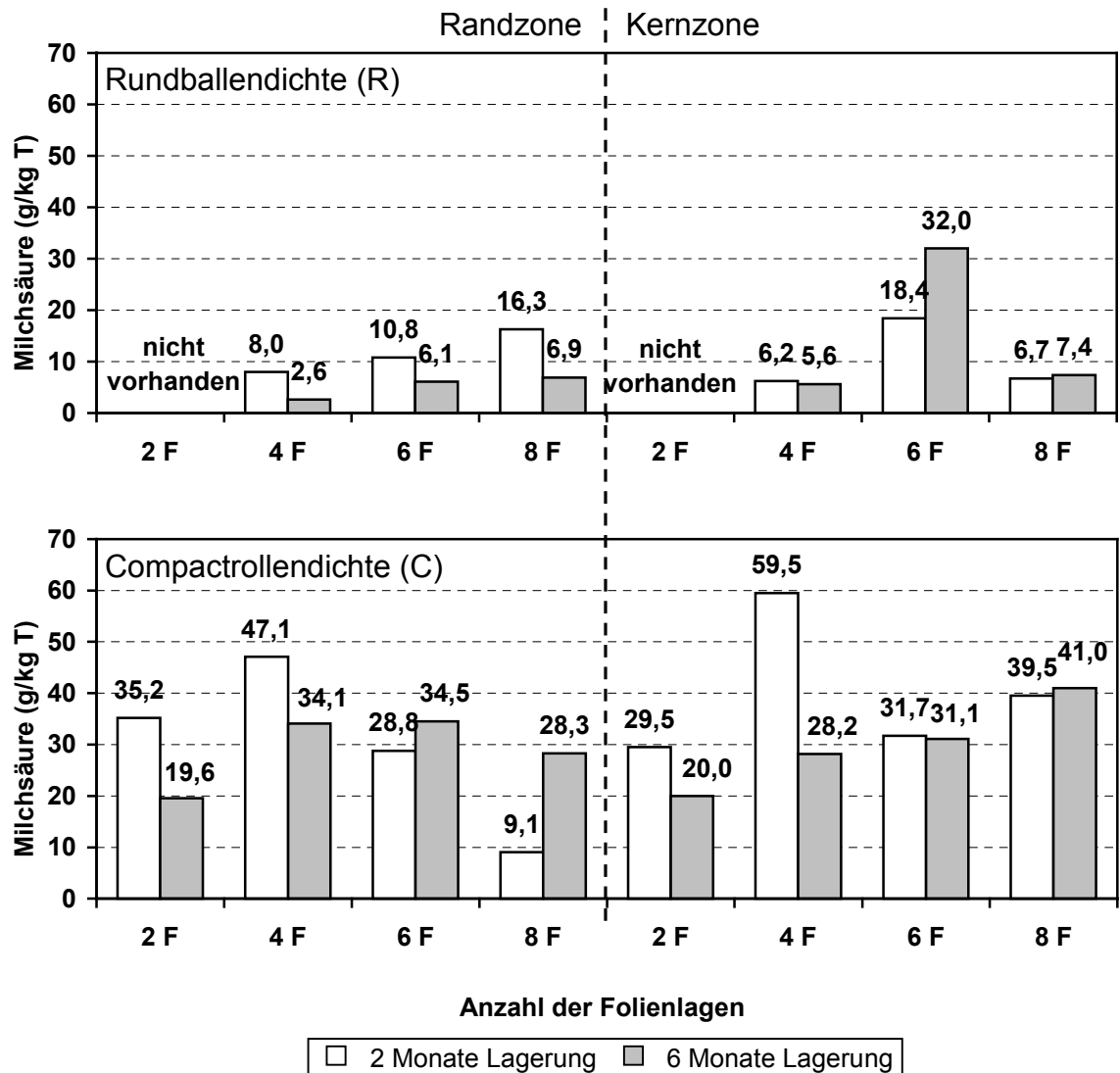


Abb. 11: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Milchsäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

Es ist anzunehmen, daß in den Compactrollensilagen infolge günstigerer anaerober Fermentationsbedingungen eine intensivere Milchsäurebildung als in den Rundballensilagen stattfand. Wegen der unzureichenden Vergärbarkeit des Ausgangsmaterials konnte aber in den Compactrollensilagen trotz hoher Lagerungsdichte eine Buttersäurebildung anscheinend nicht verhindert werden.

In **Versuch P 4** lag ein für die Anwelksilierung mittels Siloverfahren normaler T-Gehalt (374 g/kg) im Grünfutter vor. Für die Ballensilierung war dieser Wert jedoch als relativ gering einzuschätzen. Das Siliergut wies einen Vergärbarkeitskoeffizient von 55 auf und war als ausreichend vergärbar einzuschätzen. In diesem Versuch wurden erstmals neben der Compactrollenpresse gleichzeitig zwei Rundballenpressen eingesetzt. Beide Rundballenpressen waren nahezu bauartgleich. Die zusätzlich eingesetzte Presse verfügte jedoch über eine wesentlich verbesserte Vorschneideeinrichtung, wodurch das Siliergut vor der Einsilierung intensiver zerkleinert wurde. Bei mehr als der

Hälfte der mit dieser Presse erzeugten Rundballen wurde dadurch eine etwa 10-15 % höhere T-Dichte als bei den mit der Presse mit normaler Vorschneideeinrichtung produzierten Rundballen erzielt. Mit allen 3 Pressen wurden am selben Tag insgesamt 60 Silageballen erzeugt und gewickelt.

Tab. 9: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 5 Monaten Lager (n = 2)

LDI	SZ	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG		SCHI
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	No- te	% ¹⁾
R	Ra	2 F	190	371,9	6,43	1,4	3,1	0,8	15,1	3,9	2,9	12,2	-10	5	>10 ²⁾
		4 F	188	364,4	5,06	4,9	3,3	1,0	16,2	6,6	3,3	16,7	20	5	< 5
		6 F	182	354,3	5,08	10,1	2,6	0,8	12,1	5,6	2,1	9,7	35	4	< 5
		8 F	190	392,3	5,18	22,5	2,6	0,6	11,4	5,3	2,1	9,6	30	5	< 5
	Ke	2 F	190	374,6	5,12	0,8	4,4	1,8	20,3	5,9	3,8	18,6	10	5	5-10
		4 F	188	370,1	5,09	9,0	1,3	0,5	9,6	4,0	1,7	7,2	40	4	0
		6 F	182	379,3	5,01	6,8	3,1	1,1	15,5	6,8	2,6	12,8	25	5	0
		8 F	190	358,5	5,18	13,4	1,8	0,5	9,4	8,1	2,0	9,4	35	4	0
RS	Ra	2 F	216	361,0	6,19	1,6	6,5	1,9	20,6	3,4	3,1	15,5	-10	5	5-10
		4 F	209	365,4	5,10	6,0	5,1	2,1	29,6	7,3	4,0	23,1	5	5	0
		6 F	223	383,3	5,18	4,8	6,8	1,9	23,2	7,8	4,0	18,2	10	5	0
		8 F	203	376,2	4,73	16,6	3,0	1,3	21,8	7,4	2,7	14,4	25	5	0
	Ke	2 F	216	362,0	5,12	0,7	8,7	2,5	22,3	6,7	4,4	22,3	10	5	< 5
		4 F	209	401,3	5,21	1,6	5,8	3,0	29,6	6,7	4,0	19,1	0	5	0
		6 F	223	362,5	5,14	2,9	7,6	2,4	25,3	8,5	4,6	20,6	15	5	0
		8 F	203	409,5	5,09	0,9	5,4	2,2	25,5	7,5	3,2	14,0	25	5	0
C	Ra	2 F	291	412,4	5,08	6,6	5,3	1,2	16,2	3,5	3,1	17,7	25	5	5-10
		4 F	338	372,8	5,15	6,9	3,5	1,2	17,6	4,8	2,5	11,5	20	5	0
		6 F	304	412,9	4,63	10,9	3,2	1,3	8,8	5,9	3,1	15,7	45	4	0
		8 F	333	380,1	4,90	1,9	1,2	0,7	14,0	2,6	1,5	6,2	45	4	0
	Ke	2 F	291	377,6	4,71	6,3	6,3	1,9	21,2	6,3	4,4	22,8	20	5	0
		4 F	338	368,1	4,99	2,3	5,9	1,9	22,6	7,9	4,4	23,0	15	5	0
		6 F	304	358,7	4,70	6,7	3,2	1,8	19,0	7,0	3,4	15,7	40	4	0
		8 F	333	362,0	4,35	23,0	3,2	1,6	26,0	7,2	2,9	12,8	40	4	0

¹⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ²⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

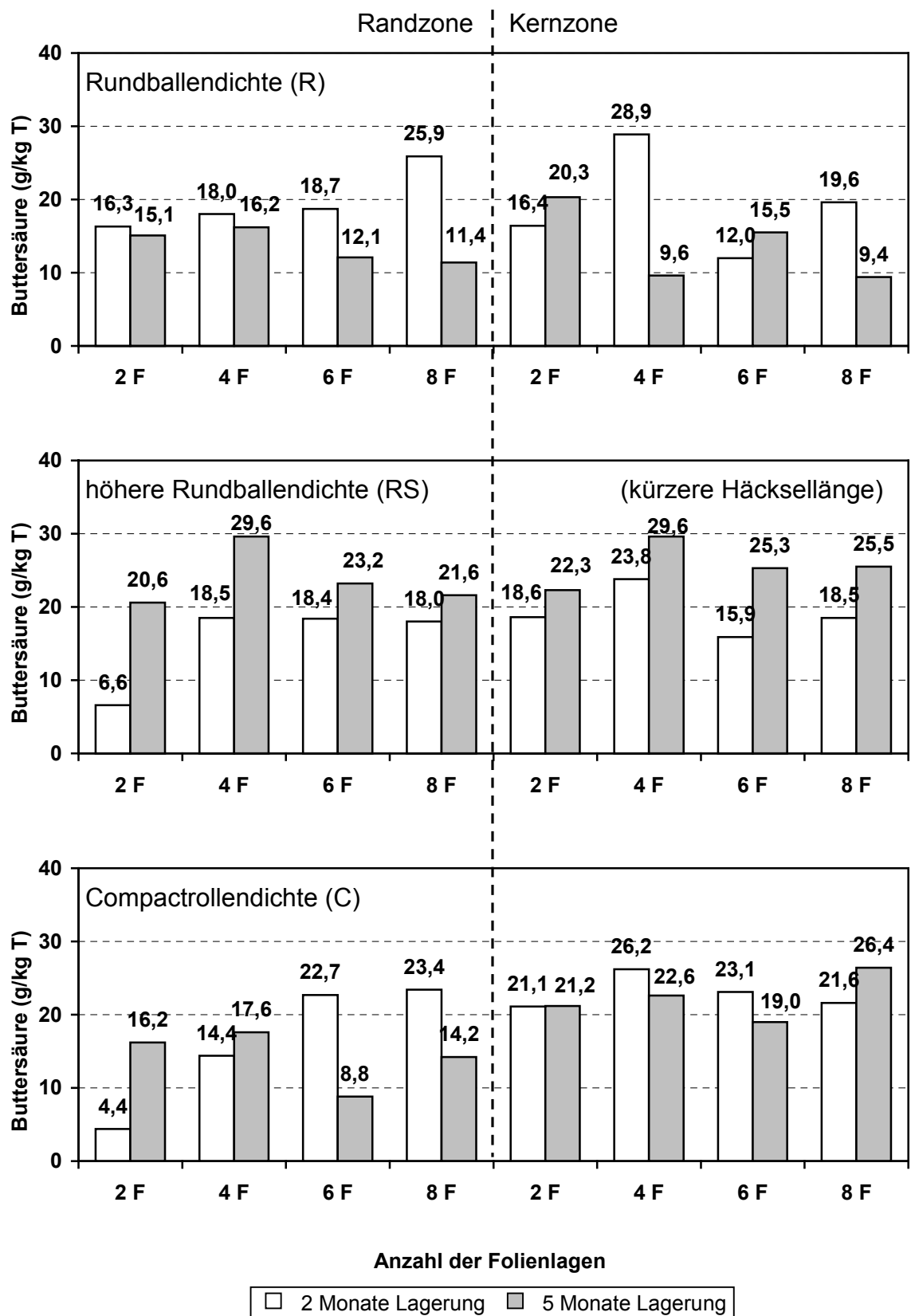


Abb. 12: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Buttersäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

Ungewöhnlich ist, daß trotz der guten Vergärbarkeit des Siliergutes in allen Silagen nach 5 Monaten Lagerung (Tab. 9) durchweg nur eine sehr schlechte bis schlechte Gärqualität festgestellt werden konnte. Bemerkenswert sind die allgemein relativ niedrigen Milch- und Essigsäuregehalte. In den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) wurde jedoch ab 6 Folienlagen gegenüber allen Rundballensilagen (R / RS) ein durchschnittlich niedrigeres Aziditätsniveau erreicht. Die durchgängig relativ hohen Buttersäuregehalte waren aufgrund der derzeit bekannten Parameter der Vergärbarkeit T-Gehalt und WLKH/PK - Quotient aber nicht zu erwarten gewesen. Es ist nicht auszuschließen, daß die unerwartete Buttersäurebildung auf das Fehlen des natürlichen Clostridieninhibitors Nitrat im Siliergut zurückzuführen ist [WIERINGA, 1966; KAISER et al., 1994; KAISER et al., 1997; KAISER und WEISS, 1997]. In den mit verbesserter Vorschneideinrichtung erzeugten bzw. höherverdichteten Rundballensilagen (RS) wurde gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) keine Verbesserung bezüglich der Gärqualität erzielt. Im Vergleich zu allen anderen Silagen fand in den höherverdichteten Rundballensilagen (RS) sogar eine tendenziell stärkere Buttersäurebildung statt (Abb. 12). Es ist anzunehmen, daß durch die intensivere Zerkleinerung des Siliergutes und die bessere Verfügbarkeit von Gärsubstrat in erster Linie die Buttersäuregärung in den Silagen angeregt wurde. Bei dem im Siliergut vorliegenden T-Gehalt führte die durch die Siliergutzerkleinerung erzeugte höhere Verdichtung anscheinend nicht zu einer besseren Gärqualität.

In **Versuch P 5** wurde ein für die Ballensilierung hoher T-Gehalt (538 g/kg) im Ausgangsmaterial erzeugt. Für praxisübliche Bedingungen ist dieser Wert aber als relativ normal einzuschätzen. Das Siliergut war bei einem Vergärbarkeitskoeffizient von 77 als gut vergärbar einzuschätzen. Mit allen 3 Ballenpressen wurden am selben Tag insgesamt 38 Silageballen hergestellt. Der Futterertrag war höher als beim entsprechenden 3. Aufwuchs im Vorjahr. Wegen der durch die 2. Rundballenpresse insgesamt breiteren Variation mußte jedoch die Variantenzahl bezüglich der Lagerungsdauer auf maximal 3 Auslagerungstermine begrenzt werden. Nach 4 Monaten Lagerung (Tab. 10) waren alle Ballensilagen im wesentlichen buttersäurefrei und enthielten nur geringe Mengen an Ammoniak. Daran gemessen wurde eine gute Gärqualität erreicht. Die schlechte Benotung nach dem DLG-Schlüssel ist ähnlich wie in Versuch P 1 auf die relativ hohen pH-Werte zurückzuführen. Diese können als das Ergebnis von Luftereinfluß mit nachträglichem Milchsäureabbau und pH-Wert-Anstieg infolge Pilzbefall angesehen werden. Der Punktabzug für die niedrigen Essigsäuregehalte führte zur weiteren Abwertung der Gärqualität. Die höherverdichteten Rundballensilagen (RS) waren allgemein fütterungstauglich und wurden gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) vor allem im Randbereich tendenziell besser bewertet. Mit der Siliergutzerkleinerung und höheren Verdichtung wurde offenbar ein etwas besserer Luftabschluß erreicht, so daß im Randbereich ein pH-Wert-Anstieg infolge Pilzbefall eingeschränkt werden konnte. Die höherverdichteten Rundballensilagen (RS) waren in Rand und Kern von weitgehend einheitlicher Gärqualität. In den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) wurde abgesehen von der Variante mit 2 Folienlagen eine überwiegend gute und in Rand und Kern einheitliche Gärqualität erzielt. Dies geht auch aus der Entwicklung der Milchsäuregehalte (Abb. 13) im Verlauf der Silierung nach 2 und 4 Monaten Lagerung hervor. Bei allen Varianten der äußeren Luftabschlußgüte wurden hier durchschnittlich

höhere Milchsäuregehalte festgestellt. Die allgemein sehr niedrigen Buttersäuregehalte werden grafisch nicht dargestellt. Die tendenziell bessere Gärqualität in den Compactrollen gegenüber den Rundballen wurde offenbar aufgrund günstigerer anaerober Fermentationsbedingungen erreicht.

Tab. 10: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen nach 4 Monaten Lager (n = 1-2)

LDI	SZ	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG		SCHI
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	No- te	% ¹⁾
R	Ra	2 F	194	521,3	6,14	1,0	0,5	0,4	1,1	7,7	0,8	2,9	35	4	>10 ²⁾
		4 F	200	569,2	5,93	2,0	0,8	0,5	1,0	5,2	0,8	3,2	40	4	5-10
		6 F	194	519,4	6,23	2,0	0,6	0,3	0,7	4,8	0,7	2,7	30	5	< 5
		8 F	192	552,4	6,03	6,4	1,3	0,3	1,3	5,3	1,1	4,7	35	4	5-10
	Ke	2 F	194	518,0	5,95	2,6	0,5	0,2	1,4	5,5	0,7	2,7	40	4	5-10
		4 F	200	521,9	5,91	1,5	0,7	0,1	1,6	7,1	0,8	3,0	40	4	< 5
		6 F	194	544,2	5,92	0,4	0,5	0,3	0,7	2,8	0,5	2,0	40	4	< 5
		8 F	192	536,2	5,27	6,9	1,0	0,2	1,7	4,9	0,9	3,7	50	4	< 5
RS	Ra	2 F	212	535,9	5,85	2,4	0,8	0,7	1,3	7,4	0,6	1,7	40	4	5-10
		4 F	202	604,1	6,00	0,5	0,4	0,4	0,8	3,8	0,5	1,7	40	4	5-10
		6 F	222	561,5	6,00	0,4	0,5	0,3	1,0	5,4	0,8	3,0	40	4	< 5
		8 F	216	510,3	5,90	0,6	0,7	0,3	1,1	2,9	0,6	2,1	40	4	0
	Ke	2 F	212	529,1	5,42	3,4	1,0	0,4	2,3	9,9	1,1	4,1	50	4	< 5
		4 F	202	545,5	5,85	3,3	0,4	0,2	1,3	10,7	0,9	3,1	40	4	< 5
		6 F	222	517,8	5,91	3,8	0,9	0,3	1,2	4,7	1,0	3,4	40	4	0
		8 F	216	549,4	5,99	3,4	0,5	0,3	1,1	5,9	0,7	2,4	40	4	0
C	Ra	2 F	305	541,5	5,80	4,5	2,0	0,1	0,6	11,0	1,1	4,0	45	4	5-10
		4 F	298	544,0	5,40	17,4	2,8	n.n.	0,4	3,5	1,4	5,1	55	3	< 5
		6 F	331	510,6	5,33	11,0	2,4	0,1	1,2	2,2	1,0	3,2	55	3	0
		8 F	315	537,8	5,30	9,8	2,5	0,4	1,2	3,1	0,9	3,6	60	3	0
	Ke	2 F	305	576,1	5,48	15,7	4,5	0,2	0,8	7,1	1,2	4,1	50	4	< 5
		4 F	298	540,8	4,90	6,8	2,2	0,2	1,6	4,5	1,1	3,9	75	2	0
		6 F	331	519,1	5,51	6,7	2,2	0,4	1,6	3,5	1,1	3,8	50	4	0
		8 F	315	553,4	5,59	5,1	3,5	0,4	0,9	6,1	1,2	4,3	50	4	0

¹⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ²⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

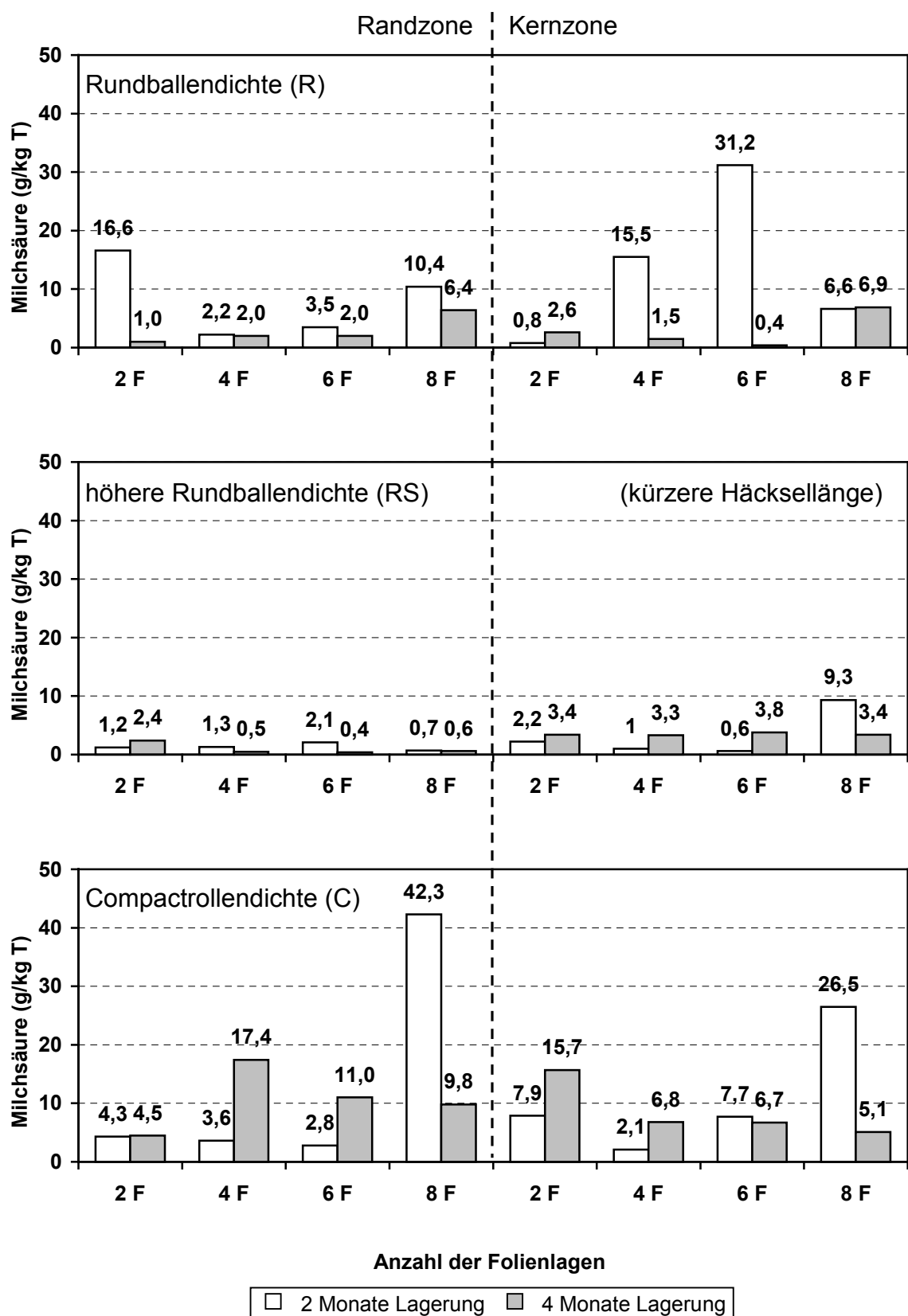


Abb. 13: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Milchsäuregehalt in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

Das Siliergut wies bei 4 von 5 Versuchen einen Vergärbarkeitskoeffizient (VK) größer als 45 auf und war als ausreichend vergärbar einzuschätzen. In einem Versuch (P 3) war die Vergärbarkeit unsicher. Im T-Bereich unterhalb 400 g/kg war das Siliergut offenbar nicht ausreichend angewelkt, weshalb meist nur eine sehr schlechte bis schlechte Gärqualität erreicht wurde. Es ist nicht auszuschließen, daß die bei ausreichender Vergärbarkeit des Grünfutters (nach VK-Werten) unerwartete Buttersäurebildung auf das Fehlen von Nitrat im Siliergut zurückzuführen ist. Im T-Bereich zwischen etwa 450 und 500 g/kg wurden bei hohem Luftabschluß (T-Dichte der Compactrollen, mindestens 6 Folienlagen) nahezu buttersäurefreie Silagen mit geringen Ammoniakgehalten und niedrigen pH-Werten erzielt. Die an diesen Parametern gemessen sehr gute Gärqualität wurde wegen niedriger Essigsäuregehalte nach dem DLG-Schlüssel abgewertet. Im T-Bereich oberhalb 500 g/kg wurden generell buttersäurefreie Silagen mit geringen Ammoniakgehalten erzeugt. Die Fermentation war infolge der geringen Wasseraktivität relativ gering. Wegen der hohen pH-Werte und niedrigen Essigsäuregehalte wurde nur eine schlechte bis mittelmäßige Gärqualität erreicht. Bei Lufteinfluß verschlechterte sich die Gärqualität infolge Milchsäureabbau und pH-Wert-Anstieg.

Durch die Siliergutzerkleinerung wurde bei den Rundballen eine 10-15 % höhere Lagerungsdichte erreicht. Die höhere Dichte führte aber nicht zwangsläufig zu einer besseren Gärqualität in den Silagen. Insgesamt wurde jedoch ein verbesserter Luftabschluß erreicht, was in einer zwischen Rand und Kern ausgeglicheneren Gärqualität sowie einem geringeren Pilzbefall zum Ausdruck kam. Bei der hohen Dichte in den Compactrollen wurde in den Silagen eine allgemein bessere und einheitlichere Gärqualität als bei der normalen Dichte in den Rundballen erzielt. Die Lagerungsdichte war gegenüber der äußeren Luftabschlußgüte offenbar von primärer Bedeutung hinsichtlich der Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses. In den Compactrollen bestanden im Vergleich zu den Rundballen bezüglich des Porenvolumens anscheinend wesentlich geringere Unterschiede zwischen Rand- und Kernbereich und das Porenvolumen war hier allgemein kleiner. Dadurch war bei hoher Dichte ein Lufteinfluß meist nur im äußeren Randbereich möglich, was bei einer äußeren Luftabschlußgüte von 6 Folienlagen in der Regel eingeschränkt werden konnte. Durch die in Rand und Kern gleichermaßen günstigen anaeroben Bedingungen verlief die Fermentation in diesen Bereichen offenbar in gleichem Umfang und dabei wesentlich intensiver als in den Rundballen. Dies führte in den Compactrollen letztendlich zu einer ausgeglicheneren und besseren Gärqualität. Ein nachträglicher Milchsäureabbau wurde nur bei geringer Folienlagenzahl und im Rand festgestellt.

4.1.2 Pilzwachstum

Im Siliergut variierte die Pilzkeimzahl zwischen $1,7 \times 10^6$ und $2,2 \times 10^7$ KBE/g FM und der Ergosterin-gehalt lag zwischen 10,7 und 54,0 mg ERG/kg T. In jedem Versuchsjahr waren die Werte beider Parameter bei den 3. generell höher als bei 1. Aufwüchsen. Die in den Silagen festgestellte Pilzkeimzahl (logarithmische Schreibweise) und die Ergosteringehalte werden in Tab. 11 und 12 nach einer Lagerungsdauer von 4 bis 6 Monaten dargestellt (analog der Gärqualität im Kapitel 4.1.1).

Die den Schwellenwert der Verderbnisstufe 1 [GEDEK, 1973] von 10000 Koloniebildenden Einheiten/g FM (KBE/g FM) übersteigenden Werte werden fettgedruckt hervorgehoben. Bedingt durch die Analysenmethode, die für die Bestimmung der Pilzkeimzahl zur Verfügung stand, wurden bei der Analyse der Proben nicht nur Schimmelpilze sondern auch Hefen erfaßt. Zur genaueren Einschätzung des Schimmelwachstums in den Silagen wurde zusätzlich in allen Proben der Ergosteringehalt bestimmt. Die visuelle Einschätzung der Verschimmelung wird ebenfalls dargestellt. Wegen geringen Futterertrages nicht angelegte Varianten sind als „nicht vorhanden“ gekennzeichnet.

In **Versuch P 1** wurde nach 4 Monaten Lagerung (Tab. 11) bei einer äußeren Luftabschlußgüte von 2 Folienlagen im Randbereich aller Ballensilagen eine sehr hohe Pilzkeimzahl und ein gegen-

Tab. 11: Versuche P 1 bis P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf den Pilzbefall in Rand und Kern von Silagen nach 4 bis 6 Monaten Lager

Silierversuche			P 1 ^{1), 3)}				P 2 ^{2), 3)}				P 3 ^{2), 4)}			
Varianten			T-DI	PK-Z	ERG	SCHI	T-DI	PK-Z	ERG	SCHI	T-DI	PK-Z	ERG	SCHI
LDI	SZ	F-A	kg T /m ³	KBE _{lg} /g FM	mg /kg T	% ⁵⁾	kg T /m ³	KBE _{lg} /g FM	mg /kg T	% ⁵⁾	kg T /m ³	KBE _{lg} /g FM	mg /kg T	% ⁵⁾
Siliergut →			—	6,23	10,7	—	—	6,57	24,1	—	—	7,34	54,0	—
R	Ra	2 F	189	7,25	211,1	>10 ⁶⁾	177	8,03	179,7	>10 ⁶⁾	n.v.			
		4 F	179	4,53	122,6	5-10	158	4,72	99,8	5-10	176	8,89	97,3	>10 ⁶⁾
		6 F	187	6,30	72,0	5-10	187	7,48	48,4	5-10	186	< 3,0	94,3	5-10
		8 F	n.v.				184	3,74	75,8	< 5	181	6,32⁷⁾	90,3	5-10
	Ke	2 F	189	4,74	124,1	>10 ⁶⁾	177	6,98	40,6	>10 ⁶⁾	n.v.			
		4 F	179	3,69	20,2	< 5	158	< 3,0	37,6	< 5	176	3,85	98,2	< 5
		6 F	187	3,20	13,8	< 5	187	3,00	43,0	< 5	186	< 3,0 ⁷⁾	91,7	< 5
		8 F	n.v.				184	< 3,0	41,3	0	181	4,75⁷⁾	89,3	< 5
C	Ra	2 F	342	6,58	168,6	>10 ⁶⁾	327	5,66	63,7	>10 ⁶⁾	306	5,70	91,1	>10 ⁶⁾
		4 F	306	5,36	74,6	5-10	298	5,48	39,6	< 5	326	3,00	89,3	0
		6 F	331	3,70	28,8	0	306	< 3,0	36,1	0	320	< 3,0	68,5	0
		8 F	n.v.				289	< 3,0	31,1	0	321	< 3,0	75,8	0
	Ke	2 F	342	4,34	54,7	< 5	327	4,31	26,2	< 5	306	3,18	79,2	< 5
		4 F	306	3,69	14,7	< 5	298	3,00	27,5	0	326	< 3,0	52,2	0
		6 F	331	< 3,0	13,6	0	306	< 3,0	27,4	0	320	3,34	61,2	0
		8 F	n.v.				289	< 3,0	28,6	0	321	< 3,0	59,0	0

^{1) / 2)} – 4 / 6 Monate Lagerung; ^{3) / 4)} – n = 2 / 1-2; ⁵⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ⁶⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls; ⁷⁾ – direkter Nachweis von Listerien

über dem Siliergut drastisch erhöhter Ergosteringehalt festgestellt. Die Silagen in diesem Bereich wurden wegen der auch visuell sehr starken Verschimmelung als fütterungsuntauglich eingestuft. In den Kernzonen war der Lufteinfluß bei 2 Folienlagen offenbar noch soweit gegeben, um auch hier einen starken Schimmelbefall zu verursachen. Es wurden jedoch Unterschiede zwischen normalverdichteten Rundballen- (R) und hochverdichteten Compactrollensilagen (C) erkennbar. Bei den Rundballen waren die Silagen im Kernbereich wegen starker visueller Verschimmelung ebenfalls als fütterungsuntauglich einzuschätzen. Im Kernbereich der Compactrollensilagen dagegen lag die Pilzkeimzahl nur wenig über dem Schwellenwert und der visuelle Pilzbefall sowie der Ergosteringehalt waren gegenüber den Rundballensilagen stark reduziert. Die Gasaustauschrate und das Eindringen von Luft vom Rand- aus in den Kernbereich wurden offenbar bei der höheren Verdichtung verringert. Auch bei nur 2 Folienlagen (praxisunüblich), womit in den Untersuchungen vor allem ein verminderter äußerer Luftabschluß durch z.B. Folienverletzungen nachempfunden werden sollte, wurde hier der Pilzbefall zumindest verlangsamt und in seinem Umfang eingeschränkt.

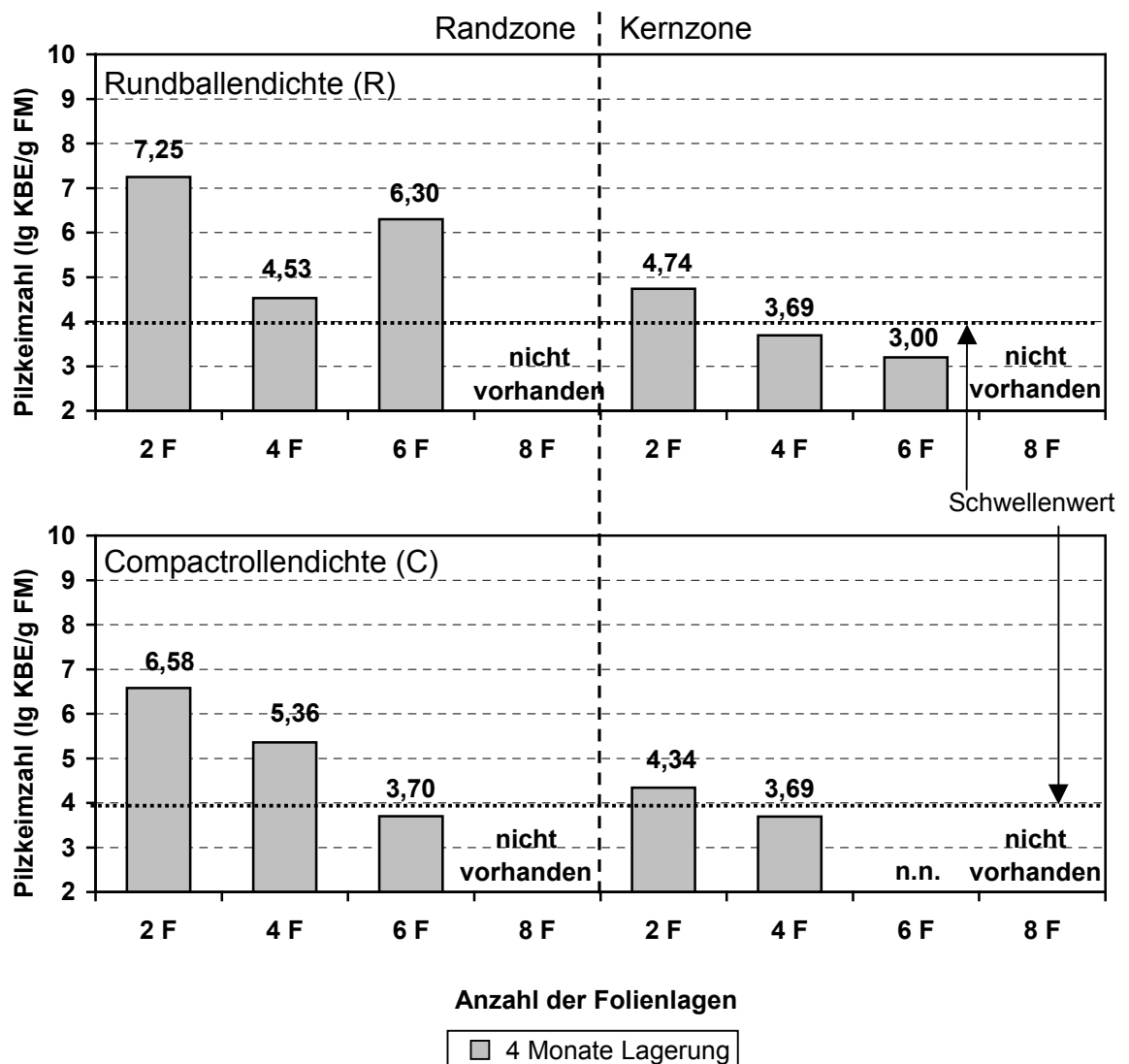


Abb. 14: Versuch P 1 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)

Ab 4 Folienlagen lag die Pilzkeimzahl im Kernbereich aller Silagen unterhalb des Schwellenwertes, während der Randbereich offenbar weiterhin unter Lufteinfluß stand. Ab 6 Folienlagen waren die hochverdichteten Compactrollensilagen (C) sowohl im Rand- als auch im Kernbereich als mikrobiologisch unbedenklich einschätzbar. Die Pilzkeimzahl (Abb.14) lag unterhalb des Schwellenwertes bzw. der Nachweisgrenze und visuell war kein Pilzbefall feststellbar. Der Ergosteringehalt in den Silagen war nur geringfügig höher als der im Siliergut. In den normalverdichteten Rundballensilagen (R) dagegen wurde bei 6 Folienlagen im Rand noch starker Schimmelbefall festgestellt.

In **Versuch P 2** wurden nach 6 Monaten Lagerung (Tab. 11) ähnliche Beobachtungen wie in Versuch P 1 gemacht. In den Rundballensilagen (R) konnte erst ab 8 Folienlagen im Rand- und Kernbereich eine Pilzkeimzahl unterhalb des Schwellenwertes erreicht werden. Der Ergosteringehalt war auch hier bei vergleichbaren Varianten der Folienlagenzahl in den Rundballen- stets höher als in den Compactrollensilagen. Die Entwicklung der Pilzkeimzahl im Verlauf der Silierung (Abb. 15)

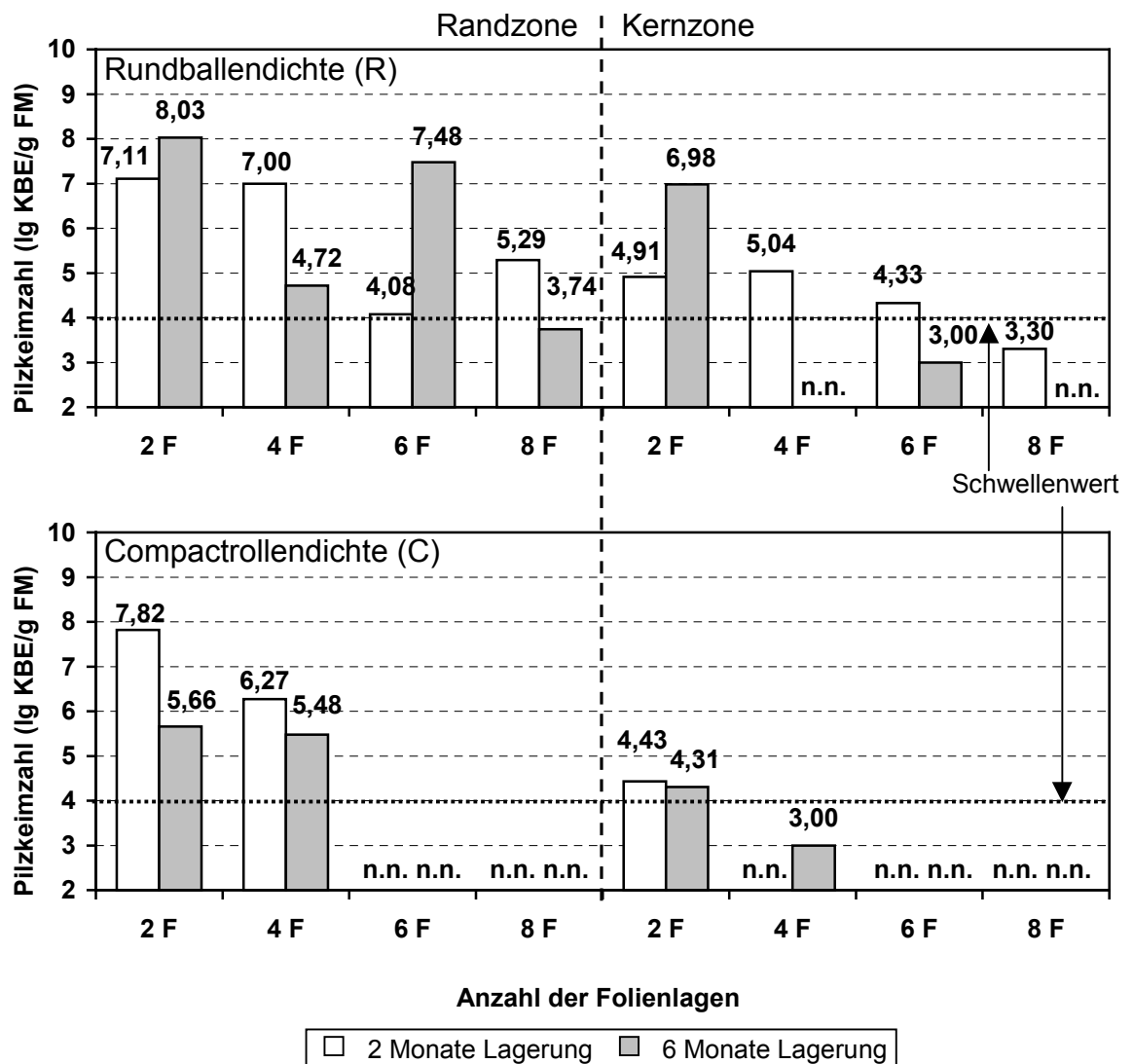


Abb. 15: Versuch P 2 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)

verdeutlicht die nachhaltige Einschränkung des Pilzwachstums bei höherer Dichte. Während der Lagerung nahm die Pilzkeimzahl in den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) auch bei geringer Folienlagenzahl in Rand und Kern tendenziell ab. In den normalverdichteten Rundballensilagen (R) dagegen stieg die Pilzkeimzahl teilweise an. Hinsichtlich der Einschränkung des Pilzwachstums war die Lagerungsdichte gegenüber der Folienlagenzahl anscheinend von primärer Bedeutung.

In **Versuch P 3** (3. Aufwuchs 1996) war nach 6 Monaten Lagerung (Tab. 11) der Pilzbefall, insbesondere die visuelle Verschimmelung, bei den Rundballensilagen (R) im Vergleich zu den entsprechenden Rundballensilagen von Versuch P 2 (1. Aufwuchs 1996) durchschnittlich stärker. Bei den Compactrollensilagen (C) waren bezüglich des Pilzbefalls derartige Unterschiede zwischen den Versuchen (Aufwüchsen) nicht erkennbar. Die höhere Pilzkeimzahl und der höhere Ergosteringehalt in den Rundballensilagen lassen auf ein stärkeres Pilzwachstum als in den Compactrollensilagen schließen. Selbst bei 8 Folienlagen wurden nicht nur im Rand- sondern auch im Kernbereich der Rundballensilagen eine relativ hohe Pilzkeimzahl und ein visuell starker Pilzbefall festgestellt.

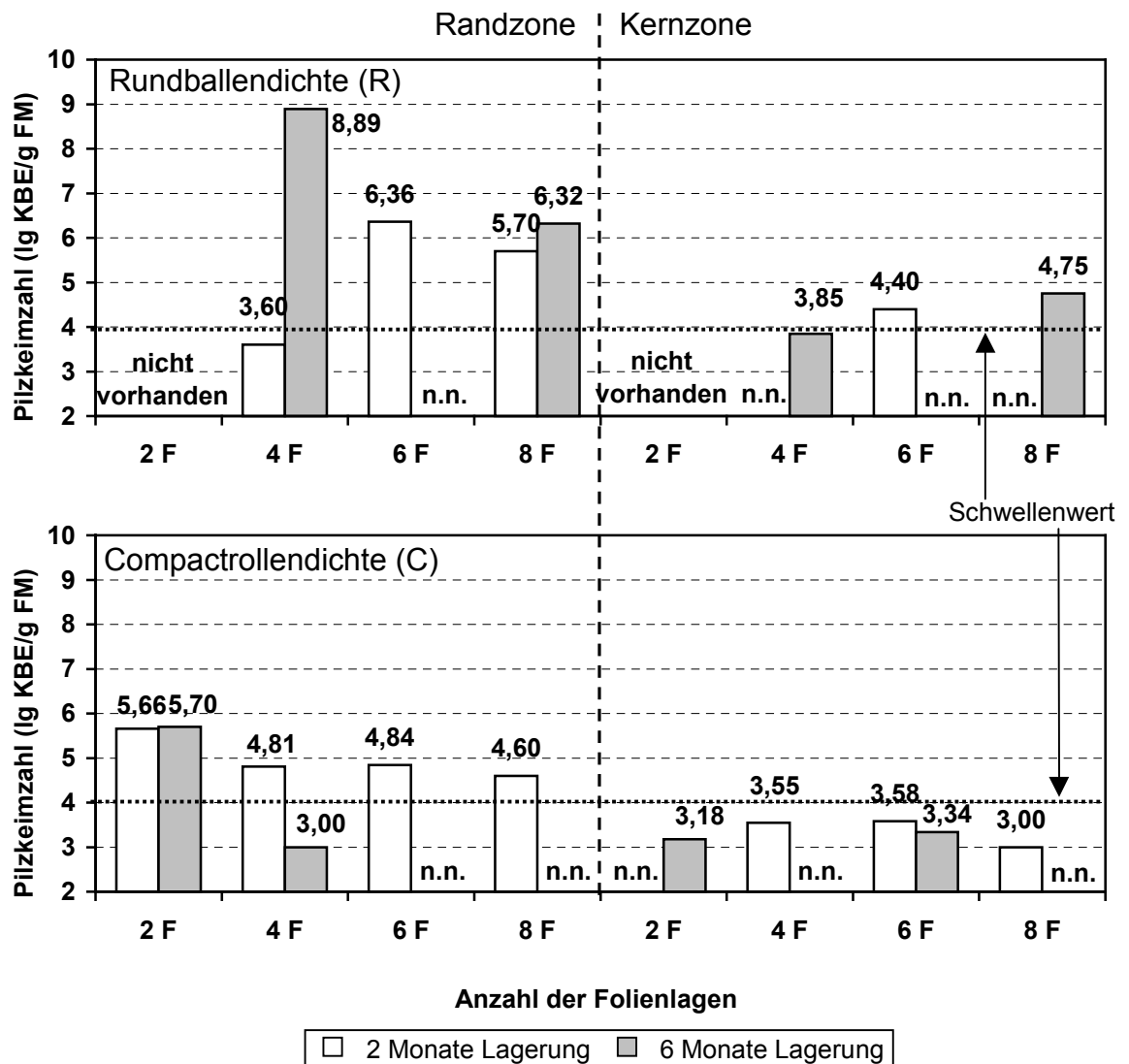


Abb. 16: Versuch P 3 - Einfluß von Dichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

Im Verlauf der Silagelagerung (Abb. 16) stieg die Pilzkeimzahl in den normalverdichteten Rundballensilagen (R) überwiegend an. In den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) dagegen sank mit Ausnahme der Variante mit 2 Folienlagen die Pilzkeimzahl während der Lagerung auf Werte unterhalb des Schwellenwertes bzw. der Nachweisgrenze ab. Die Rundballensilagen waren erst ab 6 Folienlagen, die Compactrollensilagen dagegen schon ab 4 Folienlagen fütterungstauglich. Offenbar wegen des größeren Porenvolumens im Vergleich zu den Compactrollen war der Lufteinfluß in den Rundballen nicht nur auf den Rand beschränkt sondern erfolgte auch im Kern der Silagen. Das Schimmelwachstum in den Rundballensilagen vom 3. Aufwuchs 1996 wurde durch den beim 3. Aufwuchs gegenüber dem 1. Aufwuchs höheren Pilzbesatz im Siliergut anscheinend beschleunigt. Dagegen war bei der hohen Dichte in den Compactrollensilagen der Pilzbesatz im Siliergut kaum von Bedeutung für den Pilzbefall der Silagen. Dies ist ein Ausdruck dafür, daß bezüglich der Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses zur Einschränkung von Schimmelwachstum die Lagerungsdichte gegenüber der äußeren Luftabschlußgüte primären Charakter besitzt. In den Rundballensilagen fanden durch den gegenüber den Compactrollensilagen geringeren Luftabschluß und die höheren pH-Werte noch weitere mikrobielle Schaderreger offenbar günstige Bedingungen vor. Dies verdeutlichte der direkte Nachweis von Listerien vor allem in den Rundballensilagen [FENLON et al., 1995; GRANT et al., 1995; WELCHMANN et al., 1997; MOLSAN et al., 1998].

In **Versuch P 4** wurde nach 5 Monaten Lagerung (Tab. 12) im Unterschied zu den anderen Versuchen nur bei einer äußeren Luftabschlußgüte von 2 Folienlagen und auch nur im Randbereich der Silagen teilweise eine Pilzkeimzahl oberhalb des Schwellenwertes festgestellt. Ab 4 Folienlagen waren alle Silagen fütterungstauglich. Bei den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten und höherverdichteten Rundballensilagen (RS) wurde gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) ein geringerer Schimmelbefall beobachtet. Es ist anzunehmen, daß durch die höhere Verdichtung offenbar ein besserer Luftabschluß erzielt wurde. Den allgemein niedrigsten Ergosteringehalt wiesen jedoch die hochverdichteten Compactrollensilagen (C) auf, was auf ein relativ geringes Pilzwachstum in diesen Silagen hindeutet. Darüber hinaus ist auch nicht auszuschließen, daß der in diesem Versuch relativ hohe Buttersäuregehalt der Silagen eine inhibitorische Wirkung auf das Schimmelpilzwachstum ausübte [MOON, 1983; REIß, 1986]. Dies kann vor allem bei den höherverdichteten Rundballensilagen angenommen werden, bei denen im Vergleich zu den anderen Silagen die intensivste Buttersäurebildung festgestellt wurde. Die Entwicklung der Pilzkeimzahl im Verlauf der Silierung wird in Abb. 17 nach 2 und 5 Monaten Lagerung dargestellt. Nur bei 2 Folienlagen stieg die Pilzkeimzahl in den Silagen während der Lagerung teilweise an. In den höherverdichteten Rundballensilagen (RS) lag nach 5 Monaten der niedrigste Pilzbefall vor.

In **Versuch P 5** wurde wie schon im Versuchsjahr 1996 beim Siliergut vom 3. gegenüber dem Siliergut vom 1. Aufwuchs ein allgemein höherer Pilzbesatz festgestellt. Nach 4 Monaten Lagerung (Tab. 12) wurde ähnlich wie in Versuch P 3 (3. Aufwuchs 1996) in den normalverdichteten Rundballensilagen (R) trotz einer hohen äußeren Luftabschlußgüte von 8 Folienlagen nicht nur im Rand- sondern auch im Kernbereich der Silagen eine Pilzkeimzahl oberhalb des Schwellenwertes und eine visuell starke Verschimmelung festgestellt. In den höherverdichteten Rundballensilagen (RS)

Tab. 12: Versuche P 4 und P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Pilzbefall in Rand und Kern von Silagen nach 4 bis 5 Monaten Lager

Silierversuche			P 4 ^{2), 3)}				P 5 ^{1), 4)}			
Varianten			T-DI	PK-Z	ERG	SCHI	T-DI	PK-Z	ERG	SCHI
LDI	SZ	F-A	kg T /m ³	KBE _{Ig} /g FM	mg /kg T	% ⁵⁾	kg T /m ³	KBE _{Ig} /g FM	mg /kg T	% ⁵⁾
Siliergut →			—	6,85	21,0	—	—	7,18	36,0	—
R	Ra	2 F	190	6,48	143,6	> 10 ⁶⁾	194	6,78	88,0	> 10 ⁶⁾
		4 F	188	< 3,0	65,5	< 5	200	5,01	40,6	5-10
		6 F	182	< 3,0	33,9	< 5	194	3,65	41,3	< 5
		8 F	190	< 3,0	37,3	< 5	192	4,70	41,6	5-10
	Ke	2 F	190	< 3,0	32,6	5-10	194	< 3,0	46,5	5-10
		4 F	188	< 3,0	52,2	0	200	3,78	39,4	< 5
		6 F	182	< 3,0	49,4	0	194	3,00	48,5	< 5
		8 F	190	< 3,0	65,6	0	192	4,22	46,9	< 5
RS	Ra	2 F	216	3,40	67,6	5-10	212	5,00	65,3	5-10
		4 F	209	< 3,0	48,8	0	202	4,08	69,2	5-10
		6 F	223	< 3,0	47,8	0	222	< 3,0	60,5	< 5
		8 F	203	< 3,0	47,5	0	216	3,00	50,4	0
	Ke	2 F	216	< 3,0	56,5	< 5	212	4,48	37,7	< 5
		4 F	209	3,00	35,8	0	202	5,00	36,9	< 5
		6 F	223	< 3,0	36,3	0	222	3,48	43,3	0
		8 F	203	< 3,0	33,1	0	216	3,70	48,8	0
C	Ra	2 F	291	5,55	32,4	5-10	305	5,47	45,8	5-10
		4 F	338	< 3,0	34,9	0	298	< 3,0	49,0	< 5
		6 F	304	< 3,0	34,2	0	331	< 3,0	37,0	0
		8 F	333	< 3,0	24,6	0	315	< 3,0	39,9	0
	Ke	2 F	291	< 3,0	23,3	0	305	4,84	46,7	< 5
		4 F	338	< 3,0	24,2	0	298	3,74	43,2	0
		6 F	304	< 3,0	36,9	0	331	3,30	37,9	0
		8 F	333	< 3,0	22,6	0	315	3,00	38,6	0

^{1)/2)} – 4 / 5 Monate Lagerung; ^{3)/4)} – n = 2 / 1-2; ⁵⁾ – prozentuale Einschätzung des Anteils verschimmelter an der insgesamt vorhandenen Silage in der Probenahmezone der Silageballen; ⁶⁾ – nicht fütterungstauglich wegen starken Schimmelbefalls

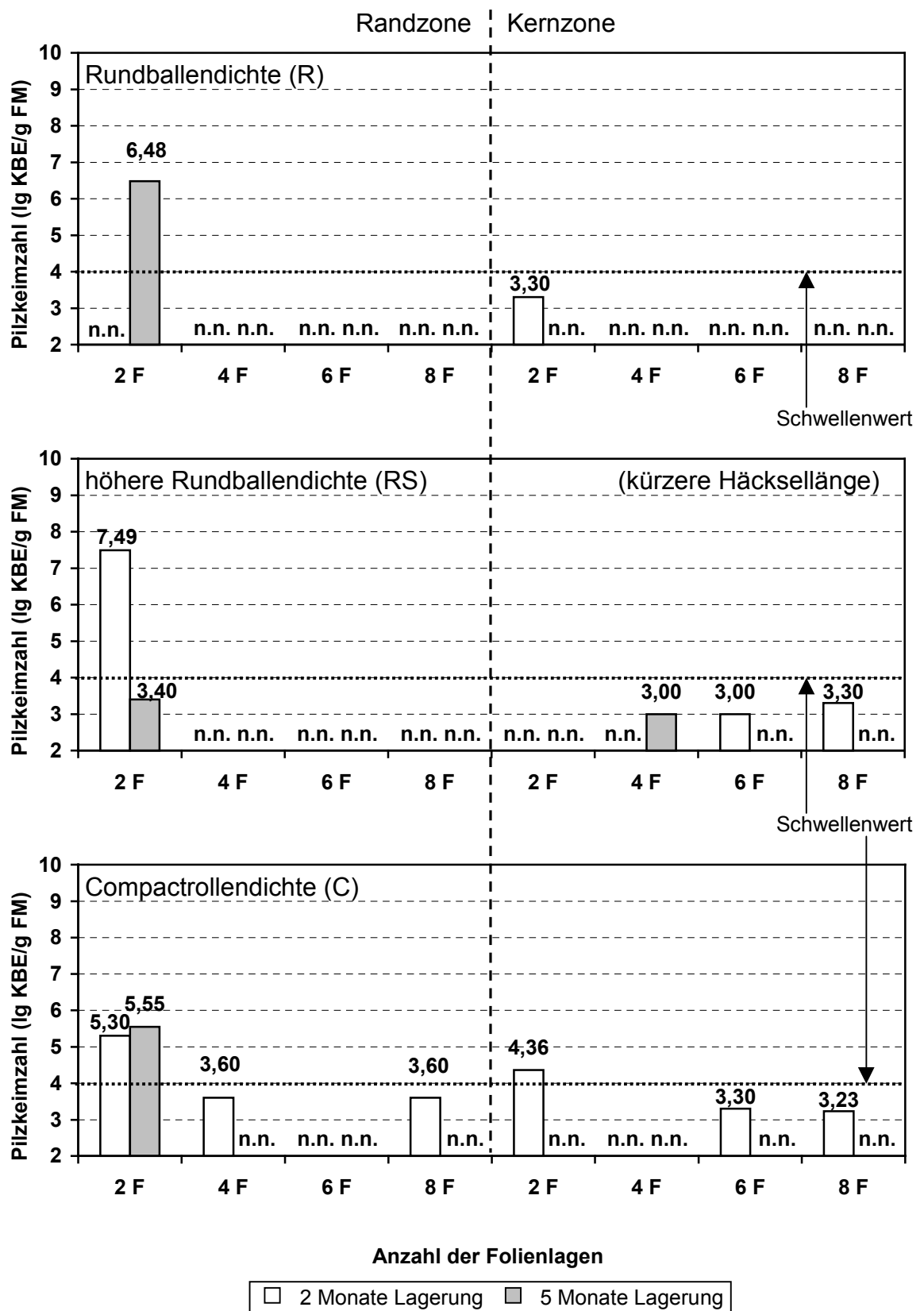


Abb. 17: Versuch P 4 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 2)

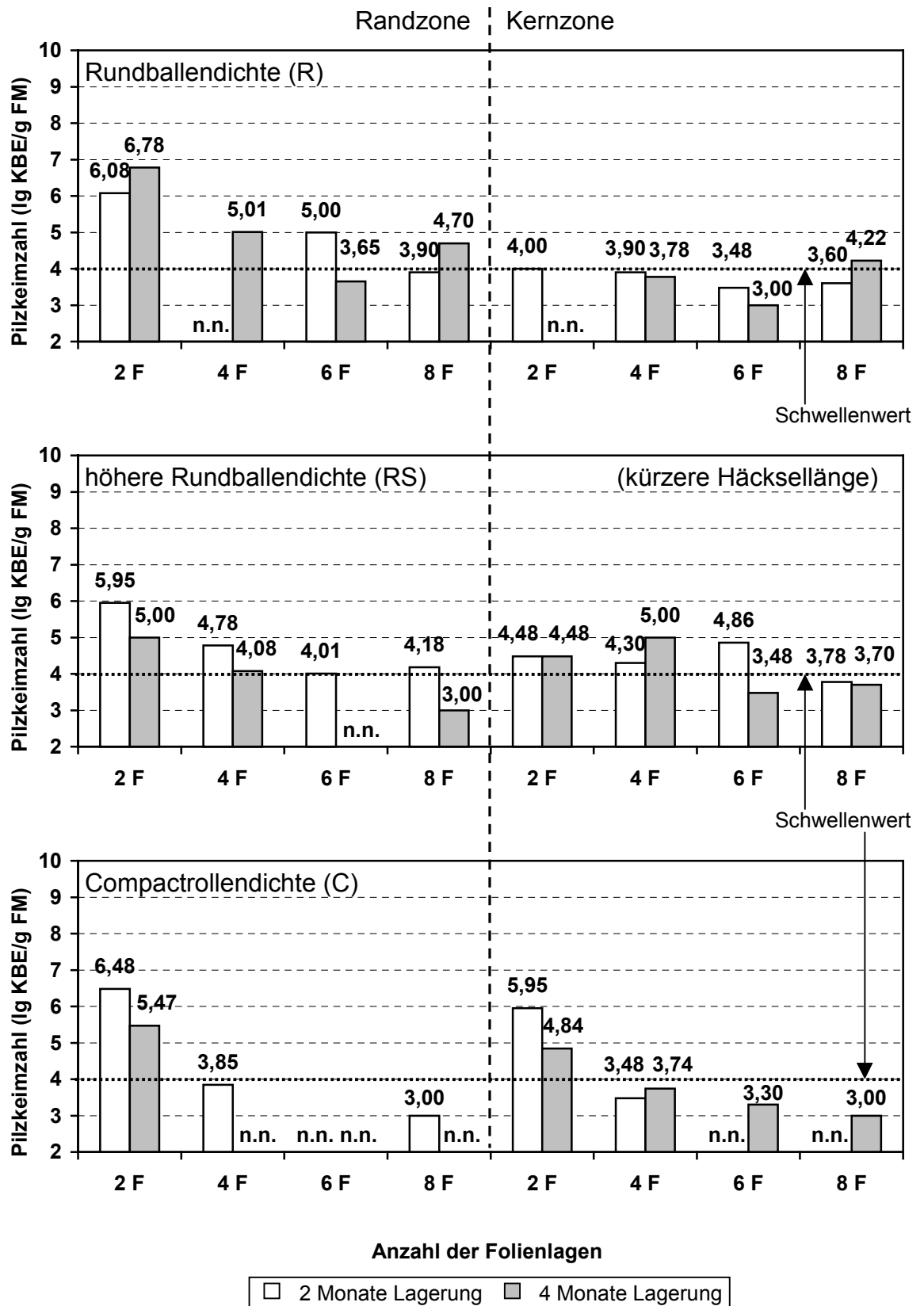


Abb. 18: Versuch P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl (lg) in Rand und Kern von Silagen im Verlauf der Silierung (n = 1-2)

dagegen wurde ab 6 Folienlagen das Pilzwachstum soweit eingeschränkt, daß in Rand und Kern der Silagen eine Pilzkeimzahl unterhalb des Schwellenwertes vorlag. Ab 6 Folienlagen war auch visuell kaum noch Schimmelbefall feststellbar. Es ist anzunehmen, daß durch die Siliergutzerkleinerung und höhere Verdichtung in Rand und Kern dieser Rundballensilagen (RS) gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) offensichtlich ein geringeres Porenvolumen und damit verbunden ein besserer Luftabschluß erzielt wurde. Bei den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) sank die Pilzkeimzahl im Vergleich dazu bereits ab 4 Folienlagen im Rand- und Kernbereich unter den Schwellenwert ab. Hierbei war auch visuell nahezu kein Pilzbefall mehr erkennbar.

Die Entwicklung der Pilzkeimzahl im Verlauf der Silierung wird in Abb. 18 nach 2 und 4 Monaten Lagerung dargestellt. In den normalverdichteten Rundballensilagen (R) stieg die Pilzkeimzahl teilweise auf Werte oberhalb des Schwellenwertes an. In den höherverdichteten Rundballensilagen (RS) dagegen sank die Pilzkeimzahl meist ab. Bei 6 und 8 Folienlagen wurde nach 4 Monaten Lagerung eine Pilzkeimzahl unterhalb bzw. im Bereich des Schwellenwertes erzielt. In den hochverdichteten Compactrollensilagen (C) fiel die Pilzkeimzahl bereits ab 4 Folienlagen unter den Schwellenwert und sank mit steigender Folienlagenzahl tendenziell weiter ab bis hin zur Nachweisgrenze. Mit steigender Dichte war ein ausreichender Luftabschluß offenbar mit weniger Folienlagen erzielbar. Der mit zunehmender Dichte bessere Luftabschluß und tendenzielle Rückgang der Pilzkeimzahl wird zusammengefaßt in Abb. 19 deutlich. Jedes Kästchen steht für eine Probe ($n = 330$). Die Pilzkeimzahl war bei relativ geringer Dichte breiter gestreut als bei hoher Dichte. Bei hoher Dichte lag eine Pilzkeimzahl oberhalb des Schwellenwertes im wesentlichen bei geringer Folienlagenzahl und meistens nur im Rand vor. Mit steigender Folienlagenzahl sank tendenziell die Pilzkeimzahl.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

Das Siliergut wies beim 1. gegenüber dem 3. Aufwuchs in jedem Versuchsjahr eine niedrigere Pilzkeimzahl und einen geringeren Ergosteridgehalt auf. Der Infektionsdruck durch Pilz- und andere Schadkeime war bei den 3. Aufwüchsen höher. Bei der hohen Dichte in den Compactrollen wurden aber relativ unabhängig davon ab einer äußeren Luftabschlußgüte von 4 Folienlagen generell fütterungstaugliche Silagen erzeugt. In den Kern- und meist auch den Randzonen der Compactrollensilagen wurde dabei eine Pilzkeimzahl unterhalb des Schwellenwertes (10000 KBE/g FM) erreicht. Ab 6 Folienlagen waren die Compactrollensilagen allgemein weitgehend unverschimmelt. Bei normaler Rundballenverdichtung (R) dagegen konnte auch bei 6 bis 8 Folienlagen eine Einschränkung des Schimmelbefalls nicht in jedem Versuch erreicht werden. Vor allem im Randbereich war auch bei hoher äußerer Luftabschlußgüte häufig eine visuell starke Verschimmelung feststellbar. Bei den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten bzw. höher verdichteten Rundballensilagen (RS) wurde gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) tendenziell ein geringerer Schimmelbefall festgestellt. Durch die intensivere Siliergutzerkleinerung wurde offenbar ein verbesserter Luftabschluß erzielt. Es ist anzunehmen, daß sich mit steigender Lagerungsdichte die Grundlagen für einen ausreichenden Luftabschluß prinzipiell verbesserten. Die Lagerungsdichte besaß bezüglich der Einschränkung des Schimmelbefalls gegenüber der Folienlagenzahl primären Charakter.

Dichte- Be- reich (kg T/ m³)	Pilzkeimzahl-Bereich (KBE/g FM)																Σ n								
	NWG				Schwellenwert																				
	< 1000				≥ 1000 – 10000				> 10000 - 100000				> 100000 - 1000000					> 1000000							
>150 –170		■	■	□		■	□	□			□			■	□	■			□	□			□	8 ■ 8	
>170 –190	■	■	□	□	□	■	■	□	□	■	□	□	□				□	□	□	□	□	□	□	□	25 ■ 25
>190 –200	□	■	□	□	□	■	□	□	□	■	□	■	□	□		□	■	□	□	□	□	□	□	□	24 ■ 24
>200 –210	□	■	□	□	□	■	■	■	■	■	□	□		□	□			□	□					□	19 ■ 19
>210 –230	□	■	□	□	□	□		■	□	□	■							□	□					□	15 ■ 15
>230 –270																									
>270 –290	□	□	□	□	□	■	□	□	□	■	■	□		□	□			□	□					□	19 ■ 19
>290 –310	□	■	□	□	□	■	□	■	□	□	□		□	□	□			□	□					□	23 ■ 23
>310 –330	■	□	□	□	□	■	□	□	□	■	■	□		□	□			□	□					□	18 ■ 18
>330		□	□	□	□	■		□	□	■	■		□	□				□	□					□	14 ■ 14
Σ n	19	39	53	50	14	24	21	18	15	12	8	7	12	5	2	2	20	4	4	1				330	
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8					
	Anzahl der Folienlagen																								

(jedes der 330 Kästchen stellt eine Silageprobe dar)

NWG - Nachweisgrenze

□ Probe aus Randzone ■ Probe aus Kernzone

Abb. 19: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf die Pilzkeimzahl in Rand und Kern der Silagen (n: R = 122 / RS = 60 / C = 148)

In Tab. 13 werden ausgewählte Parameter der in den Versuchen während der Silierung festgestellten Gärqualität und die jeweils ermittelte Pilzkeimzahl zusammenfassend dargestellt. Es wurde ein äußerer Luftabschluß von 6 Folienlagen gewählt, der bei Silageballen als ausreichend angesehen wird [ITOKAWA et al., 1995; KELLER et al., 1997]. Bei normaler Rundballendichte (R) bestanden trotz 6 Folienlagen in der Gärqualität teilweise deutliche Unterschiede zwischen Rand- und Kernbereich. Eine Pilzkeimzahl oberhalb des Schwellenwertes war relativ häufig. Durch eine Siliergutterkleinerung und höhere T-Dichte bei den Rundballen (RS) verbesserte sich tendenziell der Luftabschluß und die Unterschiede zwischen Rand und Kern wurden geringer. Es konnten hier aber nur 2 Versuche durchgeführt werden. Bei der hohen T-Dichte in den Compactrollen (C) wurde offenbar ein ausreichender Luftabschluß erzielt. Die Silagen waren relativ unabhängig vom Siliergut bei jeder Auslagerung in Rand und Kern meist von einheitlicherer und besserer Gärqualität als die Rundballensilagen. Die Pilzkeimzahl lag in der Regel unterhalb oder im Bereich der Nachweisgrenze.

Tab. 13: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) auf ausgewählte Gärparameter und die Pilzkeimzahl in Rand und Kern von Silagen bei 6 Folienlagen

Lagerungsdauer (Monate)			4	2	6	2	6	2	5	2	4	
LDI	SZ	Parameter	P 1	P 2		P 3		P 4		P 5		
R	T-DI	kg T/m ³	187	187	187	175	186	201	182	196	194	
	Ra	pH	6,34	6,01	5,16	6,43	5,73	4,80	5,08	6,29	6,23	
		BS	g/kg T	1,5	7,6	4,9	7,2	12,2	18,7	12,1	1,8	0,7
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	6,30	4,08	7,48	6,36	< 3,0	< 3,0	< 3,0	5,00	3,65
	Ke	pH	5,56	5,83	6,43	5,60	5,40	5,38	5,01	4,69	5,92	
		BS	g/kg T	0,5	6,4	23,0	23,4	10,2	12,0	15,5	1,5	0,7
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	3,20	4,33	3,00	4,40	< 3,0	< 3,0	< 3,0	3,48	3,00
RS	T-DI	kg T/m ³	n.v.					204	223	198	222	
	Ra	pH	n.v.					5,19	5,18	5,52	6,00	
		BS	g/kg T	n.v.					18,4	23,2	0,8	1,0
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	n.v.					< 3,0	< 3,0	4,01	< 3,0
	Ke	pH	n.v.					5,29	5,14	6,48	5,91	
		BS	g/kg T	n.v.					15,9	25,3	1,6	1,2
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	n.v.					3,00	< 3,0	4,86	3,48
C	T-DI	kg T/m ³	331	319	306	317	320	288	304	284	331	
	Ra	pH	5,65	5,14	5,06	5,45	4,69	5,01	4,63	5,32	5,33	
		BS	g/kg T	0,6	2,5	3,0	11,4	3,1	22,7	8,8	0,7	1,2
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	3,70	< 3,0	< 3,0	4,84	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
	Ke	pH	5,54	5,00	4,86	5,18	5,10	5,18	4,70	5,06	5,51	
		BS	g/kg T	0,6	3,9	1,8	9,3	4,3	23,1	19,0	3,2	1,6
		PK-Z	KBE _{lg} /g FM	< 3,0	< 3,0	< 3,0	3,58	3,34	3,30	< 3,0	< 3,0	3,30

4.1.3 Mykotoxingehalt

Die Silagen wurden bezüglich des Mykotoxinvorkommens auf Roquefortin C hin untersucht, das in der Literatur auch als „Leittoxin“ bei der Kontamination von Silagen mit *Penicillium roqueforti* - Toxinen angesehen wird [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996]. Der Anteil Roquefortin C - positiv ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) an den insgesamt analysierten Silageproben wird in Tab. 14 dargestellt.

Tab. 14: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf das Vorkommen von Roquefortin C ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) in den Silagen (n = 330)

Versuche			P 1 (1. AW)		P 2 (1. AW)		P 3 (3. AW)		P 4 (1. AW)		P 5 (3. AW)	
LDI	SZ	F-A	n ¹⁾	davon positiv ²⁾	n ¹⁾	davon positiv ²⁾	n ¹⁾	davon positiv ²⁾	n ¹⁾	davon positiv ²⁾	n ¹⁾	davon positiv ²⁾
C	Ra	2 F	2	0	4	0	4	2	5	4	4	0
		4 F	2	0	4	2	4	3	5	4	4	0
		6 F	2	0	4	0	4	3	5	5	4	0
		8 F	n.v.		4	0	4	3	5	4	4	0
	Ke	2 F	2	0	4	1	4	4	5	5	4	0
		4 F	2	0	4	0	4	4	5	5	4	0
		6 F	2	0	4	0	4	4	5	5	4	1
		8 F	n.v.		4	0	4	4	5	5	4	0
R	Ra	2 F	2	0	4	2	n.v.		5	4	3	0
		4 F	2	0	4	0	2	2	5	5	3	0
		6 F	2	0	4	1	3	3	5	5	3	0
		8 F	n.v.		4	0	2	1	5	4	3	0
	Ke	2 F	2	0	4	0	n.v.		5	5	3	0
		4 F	2	0	4	1	2	2	5	5	3	0
		6 F	2	0	4	0	3	3	5	5	3	0
		8 F	n.v.		4	1	2	2	5	4	3	0
RS	Ra	2 F	n.v.						5	5	2	0
		4 F	n.v.						5	5	2	0
		6 F	n.v.						5	5	3	0
		8 F	n.v.						5	5	3	0
	Ke	2 F	n.v.						5	5	2	0
		4 F	n.v.						5	5	2	0
		6 F	n.v.						5	5	3	0
		8 F	n.v.						5	5	3	0

¹⁾ - Summe der Silageproben von allen Auslagerungsterminen; ²⁾ - Nachweisgrenze: $\geq 0,05$ mg ROF/kg T

Die Höhe der in den Silagen nach 4 bis 6 Monaten Lagerung festgestellten Roquefortin C - Gehalte wird in Tab. 15 dargestellt (analog Gärqualität und Pilzwachstum in den vorhergehenden Kapiteln).

In **Versuch P 1** konnte Roquefortin C in allen Ballensilagen nicht nachgewiesen werden. In **Versuch P 2** waren 8 von insgesamt 64 Silageproben toxinpositiv, davon 5 Proben nach 6 Monaten Lagerung. Überwiegend wurden jedoch nur Gehalte im Bereich der Nachweisgrenze festgestellt.

Tab. 15: Versuche P 1 bis P 5 - Einfluß von Dichte / Häcksellänge (RS) und Folienlagenzahl auf den Roquefortin C - Gehalt in Rand und Kern von Silagen nach 4 - 6 Monaten Lager

Silierversuche			P 1 ^{1), 4)}		P 2 ^{3), 4)}		P 3 ^{3), 5)}		P 4 ^{2), 4)}		P 5 ^{1), 5)}	
Varianten			T-DI	ROF	T-DI	ROF	T-DI	ROF	T-DI	ROF	T-DI	ROF
LDI	SZ	F-A	kg T /m ³	mg /kg T	kg T /m ³	mg /kg T	kg T /m ³	mg /kg T	kg T /m ³	mg /kg T	kg T /m ³	mg /kg T
C	Ra	2 F	342	n.n.	327	n.n.	306	n.n.	291	0,33	305	n.n.
		4 F	306	n.n.	298	0,06	326	0,06	338	0,15	298	n.n.
		6 F	331	n.n.	306	n.n.	320	0,05	304	0,25	331	n.n.
		8 F	n.v.		289	n.n.	321	0,06	333	0,36	315	n.n.
	Ke	2 F	342	n.n.	327	n.n.	306	0,24	291	0,31	305	n.n.
		4 F	306	n.n.	298	n.n.	326	0,31	338	0,27	298	n.n.
		6 F	331	n.n.	306	n.n.	320	0,27	304	0,20	331	n.n.
		8 F	n.v.		289	n.n.	321	0,75	333	0,14	315	n.n.
R	Ra	2 F	189	n.n.	177	0,05	n.v.		190	0,36	194	n.n.
		4 F	179	n.n.	158	n.n.	176	0,09	188	0,44	200	n.n.
		6 F	187	n.n.	187	0,35	186	0,23	182	0,22	194	n.n.
		8 F	n.v.		184	n.n.	181	n.n.	190	0,17	192	n.n.
	Ke	2 F	189	n.n.	177	n.n.	n.v.		190	0,44	194	n.n.
		4 F	179	n.n.	158	0,05	176	0,39	188	0,33	200	n.n.
		6 F	187	n.n.	187	n.n.	186	0,30	182	0,22	194	n.n.
		8 F	n.v.		184	0,05	181	0,25	190	0,13	192	n.n.
RS	Ra	2 F	n.v.						216	0,23	212	n.n.
		4 F	n.v.						209	0,26	202	n.n.
		6 F	n.v.						223	0,45	222	n.n.
		8 F	n.v.						203	0,33	216	n.n.
	Ke	2 F	n.v.						216	0,40	212	n.n.
		4 F	n.v.						209	0,35	202	n.n.
		6 F	n.v.						223	0,47	222	n.n.
		8 F	n.v.						203	0,42	216	n.n.

^{1) / 2) / 3)} – 4 / 5 / 6 Monate Lagerung; ^{4) / 5)} – n = 2 / 1-2; n.n. - nicht nachgewiesen; n.v. - nicht vorhanden

eine relativ niedrige Pilzkeimzahl festgestellt wurde. Nach 5 Monaten Lagerung wurde in Rand und Kern von allen Ballensilagen Roquefortin C im Bereich 0,13 - 0,47 mg ROF/kg T nachgewiesen. In **Versuch P 5** wiederum wurde nur bei einer von insgesamt 76 Silageproben Roquefortin C im Bereich der Nachweisgrenze festgestellt. Nach 4 Monaten Lagerung konnte kein Mykotoxin in den Silagen nachgewiesen werden. Der Grad des Pilzbesatzes im Siliergut übte offenbar keinen unmittelbaren Einfluß auf die Mykotoxinbildung aus. Obwohl der Pilzbesatz im Siliergut von Versuch P 5 (3. Aufwuchs 1997) gegenüber dem Siliergut von Versuch P 4 (1. Aufwuchs 1997) allgemein höher war, wurde in den Silagen vom 3. Aufwuchs bis auf die erwähnte eine Ausnahme kein Roquefortin C nachgewiesen. Die Silagen vom 1. Aufwuchs 1997 waren dagegen überwiegend toxinpositiv.

In den Abb. 20 und 21 stellt jedes Kästchen eine von insgesamt 330 analysierten Proben (toxinpositiv oder -negativ) dar und ist im jeweiligen T-Bereich angeordnet. In Abb. 20 ist ersichtlich, daß

Dichte-Bereich (kg T/m³)	Trockenmasse-Bereich (g/kg)								Σ n
	> 300 – 350	> 350 – 400	> 400 – 450	> 450 – 500	> 500 – 550	> 550 – 600	> 600 – 650	> 650	
>150 – 170	◆	◆◆◆			◆◆◆ ◇	◇◇◇◇ ◇		◇◇	◆ 5 ◇ 11
>170 – 190	◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆	◆◆◆◆◆◆◆◇		◆◆◆◆ ◇◇◇◇◇◇	◆◆◆◆ ◇◇◇◇	◇◇◇	◇◇◇◇ ◇		◆ 21 ◇ 29
>190 – 210	◆	◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆	◆◆◆ ◆◆	◇◇	◇◇◇◇◇ ◇◇◇◇◇ ◇◇◇◇◇ ◇◇◇	◇◇◇◇ ◇◇	◇◇◇◇ ◇◇◇		◆ 45 ◇ 41
>210 – 230	◆	◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◇	◆◆		◇◇◇◇	◇			◆ 23 ◇ 7
>230 – 270									
>270 – 290	◆◆◆◆	◆◆◆◆◆◆◆◆◇	◆◆◆	◆◆◆◆	◇◇◇◇	◇◇◇◇ ◇◇◇◇	◇◇		◆ 16 ◇ 22
>290 – 310	◆◆◆◆◆◆◆◇	◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆	◆◆◆ ◇◇◇	◆◆◆◆◆ ◇◇◇	◇◇◇	◇◇	◇	◇◇	◆ 23 ◇ 23
>310 – 330	◆◆◆◆◆◆◆◆ ◆◆◆◆◆◆◆◇	◆◆◆◆◆◆◆◇	◆◆◆	◆◆◆◆	◇◇◇◇		◇◇	◇◇	◆ 19 ◇ 17
>330	◆◆◆◆◇	◆◆◆◆◆	◆◆◆	◇◇	◆◆◆◆ ◇◇◇		◇◇	◇◇◇◇	◆ 10 ◇ 18
Σ n	◆ 39 ◇ 5	◆ 99 ◇ 8	◆ 15 ◇ 8	◆ 6 ◇ 29	◆ 3 ◇ 56	◆ 0 ◇ 30	◆ 0 ◇ 22	◆ 0 ◇ 10	◆ 162 ◇ 168

(jedes der 330 Kästchen stellt eine Silageprobe dar)

◆ ROF-positive Probe ◇ ROF-negative Probe

Abb. 21: Versuche P 1 bis P 5 - Vorkommen von Roquefortin C ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) in den Silagen in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und T-Gehalt (n = 330)

bei den toxinpositiven Silagen die jeweils ermittelte Pilzkeimzahl zu etwa 66 % unterhalb der Nachweisgrenze bzw. zu etwa 83 % unterhalb des Schwellenwertes lag. Von einem geringen Schimmelfall konnte demnach offenbar nicht auf eine mykotoxinfreie Silage geschlossen werden. Aus Abb. 21 geht hervor, daß bei einem T-Gehalt unterhalb 450 g/kg scheinbar unbeeinflusst durch die Lagerungsdichte in etwa 88 % der untersuchten Silagen Roquefortin C nachgewiesen wurde. Im T-Bereich zwischen 450 und 550 g/kg wurden noch etwa 10 % toxinpositive Silagen angetroffen. Die hier gemessenen Gehalte lagen meist im Bereich der Nachweisgrenze ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T). Bei einem T-Gehalt über 550 g/kg konnte Roquefortin C in den Silagen nicht nachgewiesen werden.

Zusammenfassend wurde die Mykotoxinbildung in nahezu allen Praxissilierversuchen ungeachtet von T-Dichte, Folienlagenzahl und Rand- und Kernbereich anscheinend vor allem durch den Welkgrad des Siliergutes bzw. den T-Gehalt der Silagen beeinflusst. Die in den Silagen gemessenen Toxingehalte waren jedoch relativ niedrig. Sie lagen in der Regel unterhalb 1,0 mg ROF/kg T.

4.2 Laborsilierversuche

Das Grünfutter für die Silierversuche wurde in einem mittleren bis späten Schnitzeitpunkt geerntet. Der T-Gehalt im frischen Mähgut war in jedem Versuchsjahr bei den 3. Aufwüchsen generell höher als bei den 2. Aufwüchsen. Der Rohfasergehalt lag mit Werten von 204,6 bis 277,2 g/kg T in einem normal verdichtbaren Bereich. Die erzeugte T-Dichte tendierte zwischen 95 und 211 kg T/m³.

In Versuch L 1 mit Faßsilos betrug die Schichthöhe etwa 0,8 m. Hiermit sollte der Randbereich von Horizontalsilos simuliert werden. Die Laborsilos (L 2 bis L 5) waren 0,4 m hoch. Dadurch sollte vor allem die Randzone der in den Praxissilierversuchen erzeugten Ballensilagen simuliert werden. Die technisch bedingt (wegen des Plexiglasses) meist per Hand erzeugte Verdichtung erreichte nicht die T-Dichte der Compactrollen. Das Verhältnis von beim Gasaustausch wirksamer Folienfläche zum Volumen der eingelagerten Silagen war etwa mit dem der Ballensilagen in der Praxis vergleichbar.

4.2.1 Gärqualität

Bei jedem Versuch wurde Siliergut mit 2-3 verschiedenen T-Gehalten einsiliert. Das gehäckselte Grünfutter wies gegenüber dem Siliergut in den Praxissilierversuchen eine höhere Milchsäurebakterienzahl auf, die während des Welkens tendenziell anstieg. Der Gehalt an WLKH war allgemein relativ niedrig. Stabile Silagen waren meist nicht zu erwarten. Das Siliergut war überwiegend nitratfrei. Die in den Silagen nach 3 Monaten (L 1) bzw. 1 Monat (L 2 - L 5) Lagerung erreichte Gärqualität ist in Tab. 16 bis 19 dargestellt.

In **Versuch L 1** wurde bei Lufteinwirkung von der Oberfläche der Silos aus vor allem die Einflußnahme ausgewählter Silierzusätze auf die Gärqualität sowie bezüglich der Einschränkung von Pilzwachstum untersucht. Das Siliergut wies frisch (186 g T/kg) und gewelkt (294 g T/kg) Vergärbarkeitskoeffizienten von 30 bzw. 43 auf und war als unzureichend vergärbar einschätzbar. Vor allem

bei dem gewelkten Siliergut wurde bei der Einsilierung eine starke Rückdehnung beobachtet. Die obere Schicht der Silagen war nach 3 Monaten Lager bei Folienverschluß meist 10-20 cm tief verschimmelt. Diese Schicht wurde bis zu 30 cm tief abgenommen und als „Rand“- Probe angesehen. Als „Kern“- Probe wurde einheitlich die 10-15 cm starke Schicht etwa 45-60 cm vom oberen Faßrand entfernt entnommen. Bei Deckelverschluß war die Gärqualität sensorisch relativ einheitlich und kein Pilzbefall erkennbar. Die entsprechenden Proben wurden daher miteinander vermischt.

Die ohne Silierzusatz erzeugten Silagen (Tab. 16) waren bei Folienverschluß (6 F) von schlechter und in den Schichten verschiedener Gärqualität. Die Randschichten wiesen vor allem einen niedrigeren Milchsäuregehalt und höheren pH-Wert auf als die Kernschichten. Durch die verwendeten Silierzusätze (Milchsäurebakterien, Propionsäure) konnte im wesentlichen nur die Gärqualität der Kernschichten verbessert werden. In den stärker luftbeeinflussten Randschichten konnten die Silierzusätze einem pH-Wert-Anstieg infolge Pilzbefall nicht entgegenwirken. Das Anwelken hatte eine stärkere Rückdehnung vor allem der Randschichten zur Folge, was hier den Lufteinfluß vergrößerte und zu noch höheren pH-Werten führte. Durch Zusatz von Propionsäure konnte nur in den Kernschichten die Gärqualität verbessert werden. Hier wurde mit Propionsäurezusatz eine etwas bessere Gärqualität als in der Variante mit Deckelverschluß erreicht. Allgemein wurde aber bei Deckelverschluß (D) bzw. relativ luftdichter Lagerung auch ohne Anwendung von Zusätzen eine einheitliche und gute Gärqualität erzielt. Vor allem traten keine Verderbschichten und kein Pilzbefall auf.

Tab. 16: Versuch L 1 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte, Silierzusätzen und äußerem Luftabschluß auf Gärparameter in Rand und Kern von Silagen (Faßsilos) nach 3 Monaten Lager (n = 2)

WG	F-A	SZ	SM	T-DI kg T/m ³	T-GH g/kg (korr.)	pH	MS g/kg T	ES g/kg T	PS g/kg T	BS g/kg T	AL g/kg T	NH ₃ g/kg T	NH ₃ -N % des Ges-N	DLG	
														Punk- te	No- te
W 0	6 F	Ra	— ¹⁾	112	198,0	5,11	2,3	18,8	0,3	6,9	n.n.	1,4	6,5	45	4
			PS	112	195,7	5,67	3,8	20,4	4,8	3,3	n.n.	0,2	0,9	45	4
			MSB	112	198,4	6,59	5,0	22,0	0,1	8,1	0,5	1,2	5,8	25	5
		Ke	— ¹⁾	112	196,8	4,23	40,4	12,3	1,0	30,3	3,2	2,1	9,8	45	4
			PS	112	202,3	3,69	54,8	18,4	14,3	3,7	4,3	0,8	3,7	95	1
			MSB	112	191,1	3,95	59,7	18,9	0,2	7,6	4,2	1,3	6,7	75	2
		D ²⁾	— ¹⁾	112	197,4	4,28	65,5	19,9	1,8	3,8	5,1	1,5	5,7	90	2
W 1	6 F	Ra	— ¹⁾	176	286,2	6,71	6,5	8,5	1,1	13,5	0,3	1,9	7,2	15	5
			PS	176	283,7	6,11	19,5	4,1	3,2	2,8	0,3	1,4	5,0	30	5
		Ke	— ¹⁾	176	304,2	4,82	22,6	5,9	2,0	32,6	3,9	2,3	8,2	35	4
			PS	176	308,5	4,10	43,6	5,1	11,1	7,5	3,1	0,6	2,2	75	2
		D ²⁾	— ¹⁾	176	288,0	4,80	25,3	2,7	2,1	4,2	4,1	0,9	3,7	55	3

¹⁾ - ohne Silierzusatz; ²⁾ - mit Deckelverschluß, keine unterschiedlichen Probenahmezonen

Tab. 17: Versuche L 2 und L 3 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei Erdeintrag und verstärkter Lufteinwirkung (n = 3-4)

V	WG	LDS	F-A	T-DI kg T/m ³	T-GH g/kg (korr.)	pH	MS g/kg T	ES g/kg T	PS g/kg T	BS g/kg T	AL g/kg T	NH ₃ g/kg T	NH ₃ -N % des Ges-N	DLG Punk- te	DLG No- te
L2	W 1	VDS	2 F	119	341,1	4,49	136,1	41,5	1,3	12,5	8,8	7,8	16,7	60	3
			6 F	119	311,6	4,51	108,7	32,6	0,5	11,5	9,1	7,5	15,3	60	3
		NDS	2 F	119	326,1	4,56	54,4	10,8	0,1	5,3	5,0	3,6	10,8	65	3
			6 F	119	328,8	4,55	80,7	12,7	0,2	7,8	5,6	4,7	10,3	60	3
	W 2	VDS	2 F	153	406,7	4,63	135,7	39,4	0,7	3,7	9,3	11,4	29,4	60	3
			6 F	153	406,8	4,59	125,3	32,5	0,1	4,6	8,9	11,6	25,6	65	3
		NDS	2 F	153	396,9	4,73	67,0	16,2	0,3	5,1	5,8	5,0	11,2	65	3
			6 F	153	396,4	4,74	68,6	13,1	n.n.	4,0	5,2	4,8	10,4	75	2
L3	W 0	VDS	2 F	124	343,2	5,31	88,4	15,3	1,0	22,3	8,2	5,4	11,2	25	5
			5 F	124	345,8	5,07	86,0	19,0	0,3	18,1	6,4	5,8	11,8	40	4
			8 F	124	337,8	5,23	72,5	18,5	0,7	17,6	6,4	5,8	12,0	30	5
		NDS	2 F	124	316,5	4,52	61,2	10,9	n.n.	3,6	5,7	3,0	6,1	80	2
			5 F	124	319,2	4,43	56,1	9,9	1,4	4,2	3,8	2,3	5,0	80	2
			8 F	124	308,5	4,62	56,2	7,4	n.n.	5,3	3,5	3,3	7,2	65	3
			D	124	310,1	4,39	66,0	7,9	n.n.	2,4	7,3	2,6	5,3	85	2
	W 1	VDS	2 F	154	385,8	4,83	51,7	12,6	n.n.	8,9	4,7	3,2	6,8	55	3
			5 F	154	373,7	5,38	37,9	17,3	0,1	7,5	5,4	4,7	10,0	45	4
			8 F	154	372,2	5,35	33,9	18,1	0,2	8,8	5,0	4,6	9,6	45	4
		NDS	2 F	154	388,7	4,86	51,2	12,0	n.n.	8,9	4,3	2,7	5,7	60	3
			5 F	154	385,9	4,89	35,1	8,1	n.n.	8,0	3,9	2,1	4,6	55	3
			8 F	154	391,5	4,85	22,5	6,6	n.n.	5,2	3,9	2,5	4,9	60	3
			D	154	399,6	4,96	34,3	5,7	n.n.	6,4	8,4	2,6	5,2	55	3
	W 2	VDS	2 F	201	513,0	5,33	46,6	12,4	n.n.	4,1	1,9	3,6	7,6	55	3
			5 F	201	510,2	4,93	81,9	12,9	n.n.	3,5	4,0	4,0	8,7	75	2
			8 F	201	502,0	4,87	64,0	10,6	n.n.	3,8	3,4	3,6	7,7	80	2
		NDS	2 F	201	510,5	4,89	35,3	8,7	n.n.	2,9	3,6	2,4	4,9	80	2
			5 F	201	512,6	4,85	32,9	11,8	0,1	2,1	2,8	2,7	5,4	85	2
			8 F	201	505,4	4,95	29,0	10,7	n.n.	6,8	2,7	2,9	5,7	65	3
			D	201	510,0	4,87	36,9	8,9	n.n.	2,8	6,4	2,6	5,6	80	2

In den Versuchen L 2 bis L 5 waren alle Silos bei Folienverschluß in der Regel etwa 1 - 4 cm tief verschimmelt. Deutliche visuelle Unterschiede zwischen den Versuchen und Varianten traten nicht auf. Die visuell verschimmelte Silage wurde vor der Probenahme abgenommen und verworfen. Zur Probenahme wurden die visuell unverschimmelten Silagen einer Variante miteinander vermischt.

In den **Versuchen L 2 und L 3** wurde vor allem der Einfluß von Luftzutritt auf die Gärqualität und das Pilzwachstum bei praxisüblicher Schadbelastrung durch Erdeintrag untersucht. In Versuch L 2 (2. Aufwuchs 1996) wies das gewelkte Siliergut bei T-Gehalten von 299 bzw. 382 g/kg Vergärbarkeitskoeffizienten von 33 bzw. 40 auf und war als unzureichend vergärbar einzuschätzen. In Versuch L 3 (3. Aufwuchs) mit T-Gehalten von 310, 386 bzw. 503 g/kg lagen Vergärbarkeitskoeffizienten von 34, 41 bzw. 55 im Siliergut vor. Die Silagen (Tab. 17) vom 2. Aufwuchs wiesen gegenüber denen vom 3. Aufwuchs bei vergleichbarem T-Gehalt und T-Dichtegrad sowie Vergärbarkeitskoeffizienten des Siliergutes eine tendenziell bessere Gärqualität auf. Sie enthielten vor allem mehr Milch- und Essigsäure, aber auch etwas mehr Ammoniak. Naheliegend ist die Annahme, daß dieser Unterschied mit der allgemein höheren Besatzdichte der epiphytischen Milchsäurebakterienflora beim 2. Aufwuchs ($> 1,0 \times 10^8$ KBE/g FM) gegenüber dem 3. Aufwuchs ($\leq 1,0 \times 10^7$ KBE/g FM) zusammenhängt. Bei normaler Lufteinwirkung (NDS-Varianten) wurden aber in beiden Versuchen Silagen mit mittelmäßiger bis guter Gärqualität erzeugt. Wesentliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten von T-Gehalt bzw. T-Dichte sowie der Folienlagenzahl waren hier nicht feststellbar. Bei verstärkter Lufteinwirkung (VDS-Varianten) durch Druckschwankungen wurden in allen Silagen jedoch offenbar intensivere Gärprozesse induziert. Bei niedrigem T-Gehalt bzw. niedriger T-Dichte führte dies in der Regel zu einer schlechteren Gärqualität als in den vergleichbaren Varianten mit normaler Lufteinwirkung. Vor allem wurden mehr Buttersäure und Ammoniak sowie ein höherer pH-Wert festgestellt. Durch eine höhere Folienlagenzahl war kein erkennbarer Einfluß möglich. Mit steigendem T-Gehalt bzw. höherer T-Dichte nahmen die Unterschiede zwischen den Varianten mit normaler und verstärkter Lufteinwirkung deutlich ab, vor allem verringerte sich der Gehalt an Buttersäure. In der höchsten Stufe des T-Gehaltes bzw. der T-Dichte (etwa 500-520 g/kg bzw. 200 kg T/m³) waren hinsichtlich der Gärqualität nur noch geringe Unterschiede zwischen den Lufteinfluß-Varianten erkennbar. Weiterhin konnte bei dieser T-Dichte durch eine höhere Folienlagenzahl ein positiver Effekt auf die Gärqualität erzielt werden. Offenbar war trotz verstärkter äußerer Lufteinwirkung bei hoher T-Dichte das Eindringen von Luft in die Silagen primär eingeschränkt. Der Lufteinfluß konnte hierbei durch eine höhere Folienlagenzahl gezielt weiter reduziert werden.

In den **Versuchen L 4 und L 5** wurde die Auswirkung verstärkter Lufteinwirkung auf Gärqualität, Pilzwachstum und Mykotoxingehalt bei Schadbelastrung durch Pilzsporenbeimpfung untersucht. Das Siliergut in Versuch L 4 (2. Aufwuchs 1997) mit T-Gehalten von 238, 310 bzw. 358 g/kg wies Vergärbarkeitskoeffizienten von 27, 33 bzw. 38 auf und war als unzureichend vergärbar einschätzbar. In Versuch L 5 (3. Aufwuchs) mit T-Gehalten von 366, 528 bzw. 606 g/kg war das Siliergut bei Vergärbarkeitskoeffizienten von 40, 55 bzw. 61 mit Ausnahme der unteren Welkstufe als ausreichend vergärbar einzuschätzen. In der oberen Welkstufe von Versuch L 5 war das Siliergut schwer verdichtbar. Hier konnten nur je 1,5 kg FM (sonst 2,0 kg FM) in die Laborsilos eingelagert werden.

Ähnlich wie im Versuchsjahr 1996 waren auch 1997 die Silagen vom 2. Aufwuchs (Tab. 18) gegenüber denen vom 3. Aufwuchs (Tab. 19) tendenziell von einheitlicherer und besserer Gärqualität. Bemerkenswert ist, daß trotz als unzureichend vergärbarem Siliergut die Silagen vom 2. Aufwuchs (Versuch L 4) bei allen Welkstufen nahezu buttersäurefrei waren und die Silagen vom 3. Aufwuchs (Versuch L 5) nur in der unteren Welkstufe (VK=40) geringfügig (> 3-6 g/kg T) Buttersäure enthielten. Es ist nicht auszuschließen, daß mit Wegfall der Schadbelastung durch Erdeintrag, die in den Versuchen L 2 und L 3 vorlag, im Siliergut eine geringere Keimzahl an Clostridien vorhanden war. Dabei ist zu beachten, daß das Siliergut für die Versuche L 4 und L 5 auf einem anderen Grünland-Standort gewonnen wurde. Dieser Standort war besser gepflegt und das mikrobielle Risiko primär geringer [ZIMMER, 1990]. In Versuch L 4 nahm die Gärqualität mit steigendem T-Gehalt und höherer T-Dichte tendenziell zu (höherer Milchsäure- und niedrigerer Ammoniakgehalt). Ab einem T-Gehalt von etwa 350-400 g/kg wurde eine einheitlich gute Gärqualität erreicht.

Tab. 18: Versuch L 4 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei verstärkter Luftfeinwirkung und Pilzsporenbeimpfung (n = 1-2)

WG	SB	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG	
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punk- te	Note
W 0	PBI	2 F	95	253,0	4,78	79,2	28,2	n.n.	1,9	8,3	5,1	13,3	80	2
		5 F	95	251,8	4,78	83,6	26,8	n.n.	2,5	9,4	5,9	15,9	75	2
		8 F	95	254,5	4,63	75,9	26,2	n.n.	2,1	8,4	4,2	10,9	85	2
	OBI	2 F	95	245,6	4,51	116,7	31,5	n.n.	2,4	13,6	5,8	15,2	80	2
		5 F	95	243,6	4,92	90,5	27,3	1,1	1,7	8,8	5,9	15,5	65	3
		8 F	95	255,2	4,61	81,5	30,3	0,7	2,5	8,9	4,7	12,7	85	2
W 1	PBI	2 F	124	339,3	4,77	65,6	25,9	n.n.	2,1	7,2	5,1	12,5	85	2
		5 F	124	332,2	4,95	66,8	23,2	n.n.	2,2	7,9	5,9	14,9	75	2
		8 F	124	348,8	4,90	107,7	55,3	n.n.	2,2	7,0	4,9	12,0	70	3
	OBI	2 F	124	327,0	4,80	71,6	28,4	n.n.	2,7	6,5	6,1	15,2	80	2
		5 F	124	332,3	4,81	72,1	33,5	n.n.	1,9	7,4	5,8	14,6	80	2
		8 F	124	330,7	5,11	61,5	25,1	n.n.	1,8	6,5	6,8	17,2	65	3
W 2	PBI	2 F	143	384,4	4,70	107,3	42,6	n.n.	2,5	7,7	4,1	8,6	90	2
		5 F	143	389,2	4,87	100,9	41,9	n.n.	2,4	6,6	4,7	10,2	80	2
		8 F	143	380,7	4,73	95,8	36,5	n.n.	1,6	6,4	4,0	10,5	80	2
	OBI	2 F	143	396,0	4,70	114,8	44,3	n.n.	2,1	8,3	4,0	9,4	90	2
		5 F	143	389,4	4,77	122,7	42,9	n.n.	3,3	6,0	4,1	9,5	80	2
		8 F	143	382,4	4,78	115,9	49,3	n.n.	2,2	6,1	3,9	8,4	80	2

In Versuch L 5 verbesserte sich mit steigendem T-Gehalt bis etwa 500-550 g/kg ebenfalls die Gärqualität. Dies äußerte sich vor allem durch geringere Gehalte an Buttersäure und Ammoniak in den Silagen. Oberhalb 600 g T/kg verschlechterte sich die Gärqualität. Die Pilzsporenbeimpfung (PBI-Varianten) in den Versuchen L 4 und L 5 übte keinen wesentlichen Einfluß auf die Gärqualität aus.

Tab. 19: Versuch L 5 - Einfluß von T-Gehalt, Dichte und Folienlagenzahl auf Gärparameter in Silagen nach 1 Monat Lager bei verstärkter Lufteinwirkung und Pilzsporenbeimpfung (n = 1-2)

WG	SB	F-A	T-DI	T-GH	pH	MS	ES	PS	BS	AL	NH ₃	NH ₃ -N	DLG	
			kg T/m ³	g/kg (korr.)		g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	g/kg T	% des Ges-N	Punkte	Note
W 0	PBI	2 F	147	356,7	5,16	67,1	24,1	n.n.	4,2	6,6	6,2	16,6	55	3
		4 F	147	365,2	5,04	61,3	19,8	n.n.	4,2	8,2	7,0	17,7	55	3
		6 F	147	363,1	5,09	57,1	18,1	n.n.	3,5	5,3	6,1	16,4	60	3
		8 F	147	365,7	5,07	64,9	21,3	n.n.	4,1	7,6	6,4	18,7	55	3
	OBI	2 F	147	351,1	5,15	66,9	27,3	n.n.	3,8	8,8	4,7	11,9	65	3
		4 F	147	350,3	5,19	69,4	30,4	n.n.	4,2	5,5	7,7	19,5	50	4
		6 F	147	368,1	5,04	66,2	28,4	n.n.	3,5	5,8	7,0	20,1	60	3
		8 F	147	361,4	5,01	72,0	28,4	n.n.	4,0	7,7	5,8	14,9	65	3
W 1	PBI	2 F	211	539,4	5,22	39,7	14,3	n.n.	1,5	2,4	3,9	9,7	70	3
		4 F	211	522,1	5,20	31,9	9,9	n.n.	2,1	1,8	3,5	7,1	70	3
		6 F	211	548,2	5,20	34,9	8,1	n.n.	1,2	2,1	3,3	8,1	70	3
		8 F	211	548,7	5,18	33,9	11,5	n.n.	1,3	2,9	3,5	6,8	75	2
	OBI	2 F	211	551,2	5,15	37,1	12,4	n.n.	1,3	2,8	3,9	9,8	75	2
		4 F	211	559,0	5,30	36,4	15,0	n.n.	1,1	3,0	3,5	9,7	75	2
		6 F	211	566,0	5,14	29,8	10,9	n.n.	1,4	2,8	2,9	7,6	75	2
		8 F	211	558,7	5,12	36,0	12,5	n.n.	0,9	4,5	3,4	8,7	75	2
W 2 ¹⁾	PBI	2 F	182	679,2	5,98	8,3	5,0	n.n.	1,2	1,1	2,2	5,7	45	4
		4 F	182	688,2	5,93	9,1	4,0	n.n.	1,4	1,6	2,1	5,2	40	4
		6 F	182	685,3	5,78	6,9	3,0	n.n.	1,6	1,2	2,0	4,3	45	4
		8 F	182	679,7	5,73	6,2	3,1	n.n.	1,0	1,2	1,9	4,6	45	4
	OBI	2 F	182	672,7	6,12	6,9	2,1	n.n.	1,4	1,5	2,4	5,2	35	4
		4 F	182	639,1	6,00	7,3	4,6	n.n.	1,5	1,0	2,5	5,9	40	4
		6 F	182	617,4	5,90	10,1	4,9	n.n.	1,9	3,5	2,3	5,5	40	4
		8 F	182	653,1	5,84	6,0	2,9	n.n.	1,5	1,3	2,2	5,4	40	4

¹⁾ – versuchstechnisch bedingt geringere Silierguteinwaage (1,5 kg FM) bzw. FM-Dichte in den Laborsilos dieser Weltstufe

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

Die Silagen vom 2. Aufwuchs waren gegenüber denen vom 3. Aufwuchs bei vergleichbarem T-Gehalt und T-Dichtegrad sowie Vergärbarkeitskoeffizienten des Siliergutes von tendenziell besserer Gärqualität. Es ist anzunehmen, daß dies mit der höheren Besatzdichte der epiphytischen Milchsäurebakterienflora beim 2. Aufwuchs im Vergleich zum 3. Aufwuchs im Zusammenhang steht. Beim 2. Aufwuchs wurde ab einem T-Gehalt von ca. 350-400 g/kg eine einheitlich gute Gärqualität erzielt. Beim 3. Aufwuchs war dafür ein Anwelken bis zu einem T-Gehalt von etwa 500-550 g/kg erforderlich. Das weitere Anwelken des Siliergutes verminderte deutlich die Fermentation in den Silagen. Eine Schadbelastrung durch Erdeintrag konnte tendenziell die Gärqualität verschlechtern, während eine Kontamination mit Pilzsporen keine erkennbare Auswirkung auf die Gärqualität hatte.

Bei niedrigem T-Gehalt bzw. geringer T-Dichte führte eine verstärkte äußere Lufteinwirkung meist zu einer schlechteren Gärqualität, was sich durch höhere Gehalte an Buttersäure und Ammoniak äußerte. Durch eine höhere Folienlagenzahl konnte dem nicht entgegengewirkt werden. Mit der Erhöhung des T-Gehaltes bzw. der T-Dichte wurde auch bei verstärkter äußerer Lufteinwirkung ein verbesserter Luftabschluß und eine bessere Gärqualität in den Silagen erreicht. Bei hoher T-Dichte war durch eine höhere Folienlagenzahl tendenziell ein positiver Effekt auf die Gärqualität erzielbar. In den Faßsilos (L 1) wurde bei luftdichter Lagerung (Deckelverschluß) auch ohne Silierzusätze selbst bei unzureichend vergärbarem Siliergut eine gute Gärqualität erreicht. Bei Lufteinfluß (Folienverschluß) bildeten sich Rand- und Kernschichten aus. Die Randschichten wiesen einen hohen pH-Wert und relativ starken Pilzbefall auf. Dem konnte mit den angewandten Zusätzen nicht entgegengewirkt werden. Das Anwelken bewirkte im Rand eine stärkere Rückdehnung und noch größeren Lufteinfluß. In den offenbar weniger luftbeeinflussten Kernschichten verbesserte sich durch die Silierzusätze in der Regel die Gärqualität, insbesondere durch den Zusatz von Propionsäure.

4.2.2 Pilzwachstum

In jedem Versuchsjahr war der Pilzbesatz beim 3. Grünfutter-Aufwuchs tendenziell höher als beim 2. Aufwuchs. Im frischen Grünfutter variierte die Pilzkeimzahl zwischen $1,4 \times 10^6$ und $2,0 \times 10^7$ KBE/g FM und der Ergosteringehalt zwischen 12,9 und 32,4 mg ERG/kg T. Während des Anwelkens stiegen beide Parameter allgemein an. In den Versuchen L 2 und L 3 mit einer Schadbelastrung des Siliergutes durch Erdeintrag wurden mit einer Pilzkeimzahl von $2,1 \times 10^8$ bzw. $5,4 \times 10^8$ KBE/g FM und einem Ergosteringehalt von 108,3 bzw. 116,1 mg ERG/kg T relativ hohe Werte festgestellt. Der in den Silagen festgestellte Pilzbefall wird in Abb. 22 bis 24 dargestellt.

In **Versuch L 1** wurden nach 3 Monaten Lagerung (Abb. 22) bei Folienverschluß erhebliche Unterschiede zwischen Rand- und Kernschichten hinsichtlich des Schimmelpilzbefalls deutlich. Während die Pilzkeimzahl in den Kernschichten noch unterhalb des Schwellenwertes von 10000 KBE/g FM lag, wurde in den Randschichten eine hohe Pilzkeimzahl und visuell ein sehr starker Schimmelbefall beobachtet. Die verwendeten Silierzusätze führten hier zu keiner wesentlichen Verbesserung im Vergleich zur Variante ohne Silierzusatz. Bei relativ luftdichter Lagerung (Deckelverschluß) wur-

de dagegen so gut wie kein Pilzbefall in den Silagen nachgewiesen. Das Anwelken des Siliergutes bewirkte in den Randschichten vor allem eine deutliche Zunahme des Gehaltes an Ergosterin, was auf starkes Mycelwachstum unter offenbar guten Umweltbedingungen für Schimmelpilze hindeutet. Durch die stärkere Rückdehnung wurde anscheinend der Lufteinfluß verstärkt. In den Kernschichten wurde dagegen bei höherem T-Gehalt eine tendenzielle Abnahme der Pilzkeimzahl und des Ergosteringehaltes festgestellt. Es ist anzunehmen, daß hier ein verbesserter Luftabschluß vorlag.

In den **Versuchen L 2 und L 3** wurde nach 1 Monat Lager (Abb. 23) allgemein in den Silagen vom 2. Aufwuchs gegenüber den Silagen vom 3. Aufwuchs ein geringerer Pilzbefall festgestellt. Bei normaler Lufteinwirkung sank bei Erhöhung der Folienlagenzahl die Pilzkeimzahl in den Silagen vom 2. Aufwuchs unter die Nachweisgrenze ab. Demgegenüber lag in den Silagen vom 3. Aufwuchs die

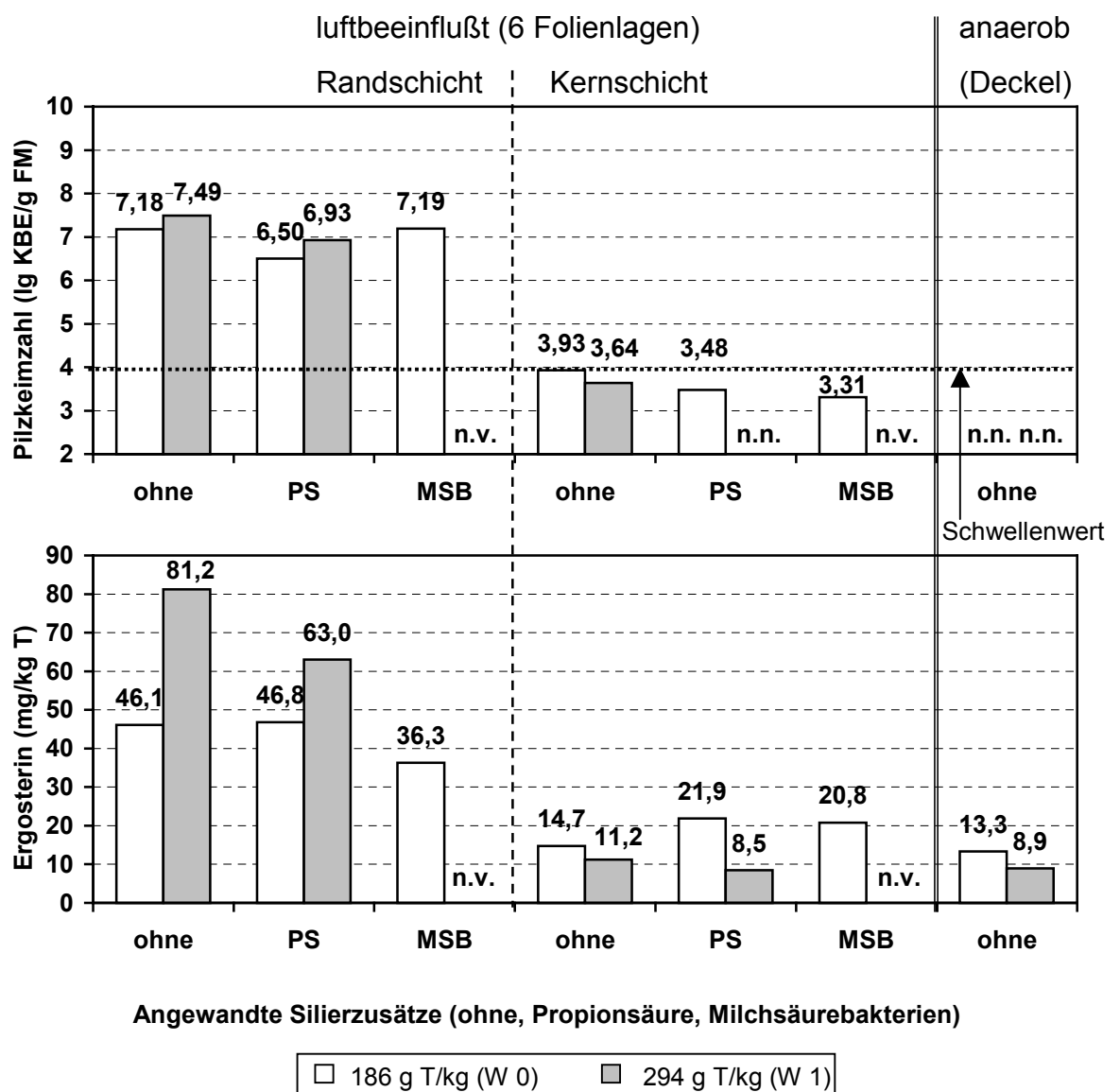


Abb. 22: Versuch L 1 - Einfluß von T-Gehalt, Silierzusätzen und Luftabschluß auf den Pilzbefall in verschiedenen Schichten von Silagen (Faßsilos) nach 3 Monaten Lager (n = 2)

Pilzkeimzahl offenbar unbeeinflussbar durch die Folienlagenzahl deutlich über dem Schwellenwert. Auch bei verstärkter Lufteinwirkung war der Pilzbefall in den Silagen vom 2. Aufwuchs vergleichsweise geringer. Mit dem Anwelken des Siliergutes bzw. einer höheren T-Dichte war in den Silagen vom 2. Aufwuchs eine tendenzielle Abnahme der Pilzkeimzahl verbunden. In den Silagen vom 3. Aufwuchs war kein derartiger Effekt erkennbar. Es ist anzunehmen, daß in den Laborsilos auch in der höchsten Stufe des T-Gehaltes bzw. der erreichbaren T-Dichte (ca. 500-520 g/kg bzw. 200 kg T/m³) hinsichtlich der Einschränkung von Pilzbefall kein ausreichender Luftabschluß erzielt wurde.

In den **Versuchen L 4 und L 5** wurde nach 1 Monat Lager (Abb. 24) erwartungsgemäß bei den mit einer *Penicillium roqueforti* - Sporensuspension beimpften Silagen überwiegend eine höhere Pilzkeimzahl als in den unbeimpften Silagen festgestellt. Die Differenzen bei den Pilzkeimzahl-Werten

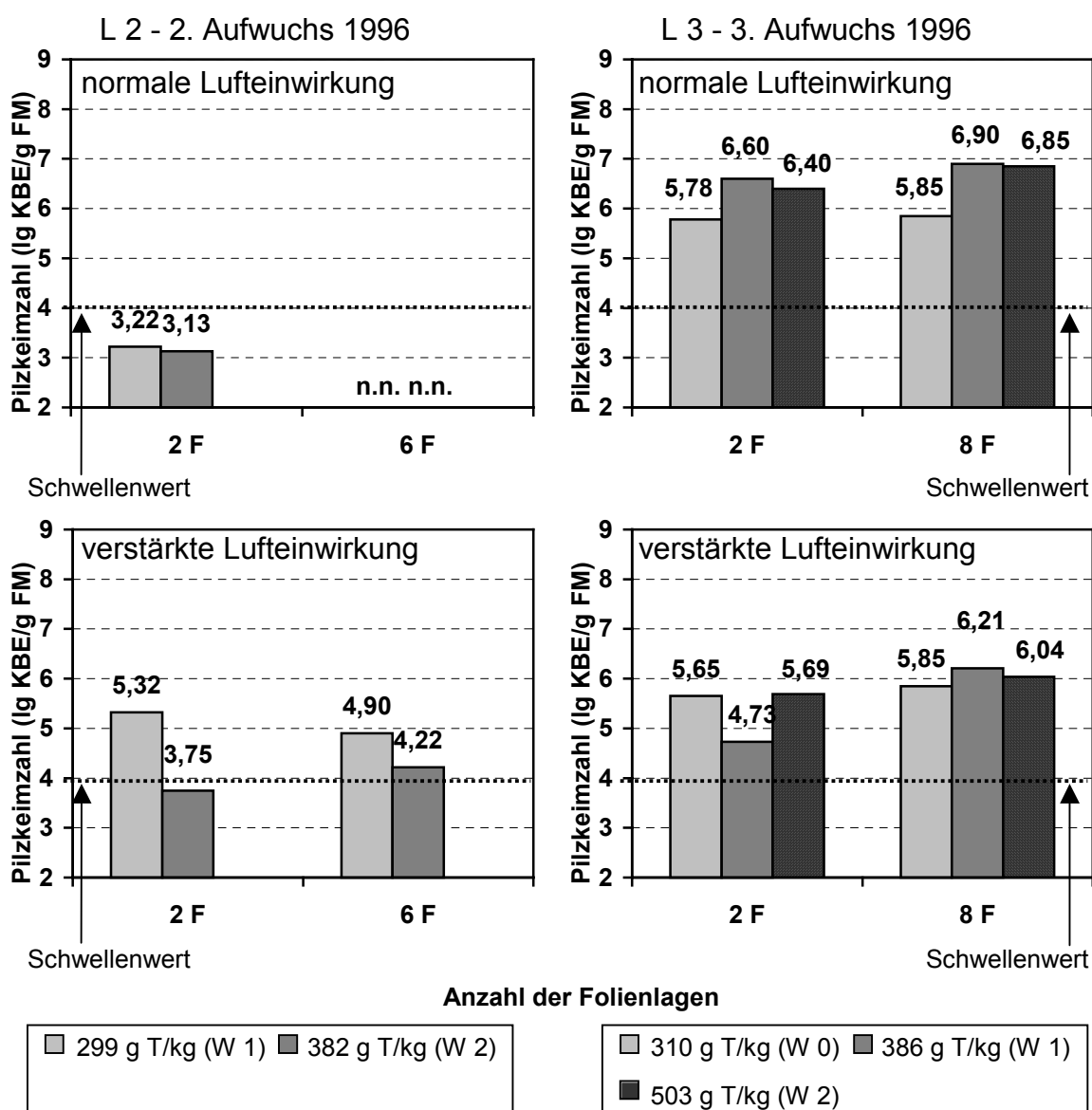


Abb. 23: Versuche L 2 und L 3 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt, Folienlagenzahl und Lufteinfluß auf den Pilzbefall in Silagen bei Schadbelastrung durch Erdeintrag, 1 Monat Lager (n = 3-4)

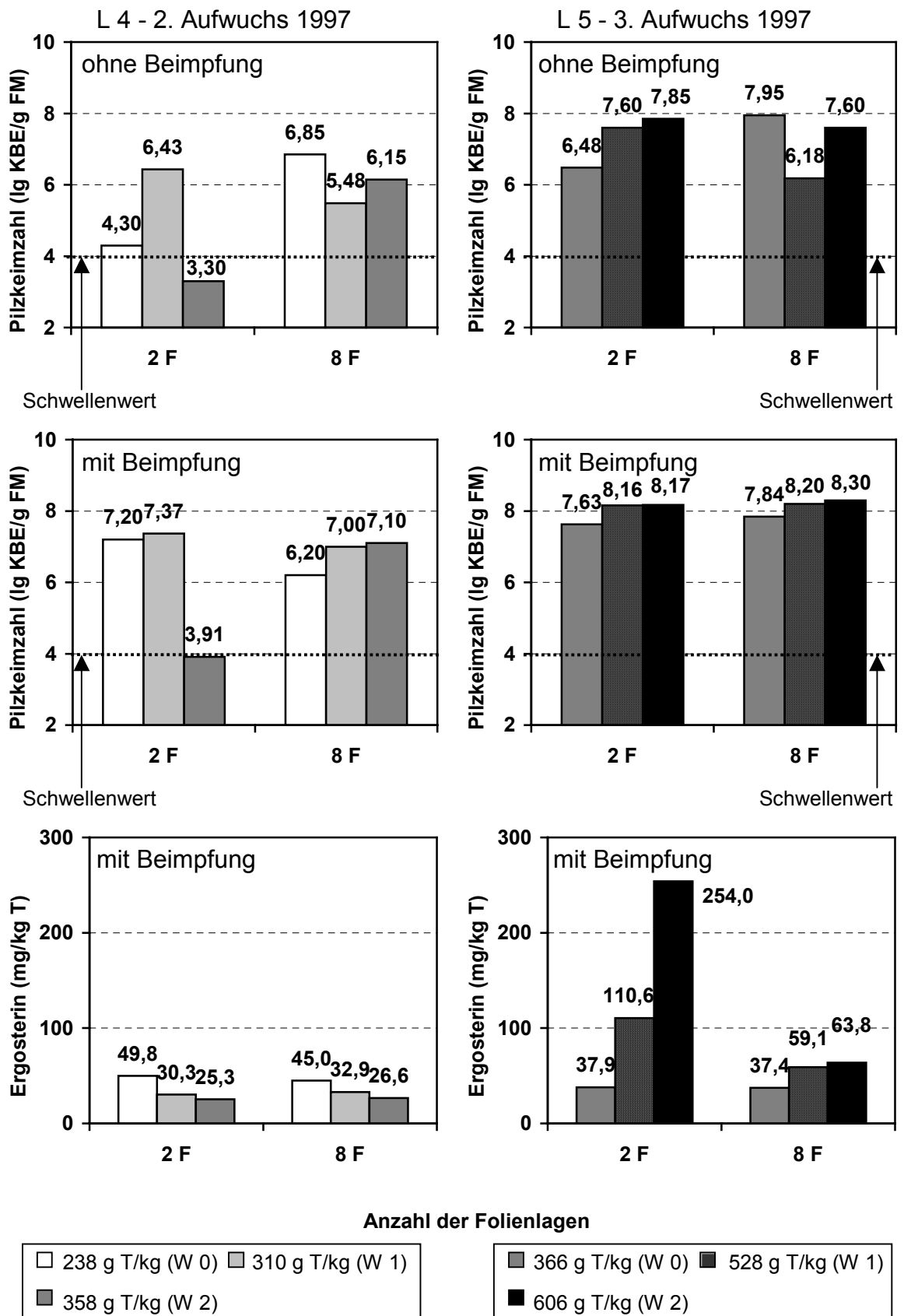


Abb. 24: Versuche L 4 und L 5 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt, Folienlagenzahl und Pilzsporenbeimpfung auf den Pilzbefall in Silagen bei verstärktem Lufteinfluß, 1 Monat Lager (n = 1-2)

waren jedoch wesentlich höher als die eingesetzte theoretische Impfdichte von 10000 KBE/g FM. Im Verlauf der Silierung hatte in den beimpften Silagen anscheinend ein intensiveres Pilzwachstum als in den unbeimpften Silagen stattgefunden. Die Silagen vom 2. Aufwuchs (Versuch L 4) wiesen tendenziell einen geringeren Pilzbefall als die Silagen vom 3. Aufwuchs (Versuch L 5) auf, auch im vergleichbaren Bereich von T-Gehalt und T-Dichte (etwa 350-400 g/kg bzw. 140-150 kg T/m³). Bei relativ hohem T-Gehalt (Versuch L 5) stieg der Pilzbefall tendenziell an. Bei Erhöhung der Folienlagenzahl war als Effekt im wesentlichen nur eine Einschränkung der Ergosterinbildung erkennbar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

In den Silagen vom 2. wurde gegenüber denen vom 3. Aufwuchs auch bei Schadbelastungen und simulierter verstärkter Luftereinwirkung ein tendenziell geringerer Pilzbefall festgestellt. Bei normaler Luftereinwirkung war in den Silagen vom 2. Aufwuchs ein guter Luftabschluß meist mit einer geringeren Folienlagenzahl erreichbar und der Pilzbefall wurde bei höherer T-Dichte tendenziell verringert. In den Silagen vom 3. Aufwuchs war dieser Effekt nicht erkennbar bzw. wesentlich geringer. Der Pilzbesatz im Siliergut war bei den 3. Aufwüchsen höher, was anscheinend den Pilzbefall der Silagen beschleunigte. Die in den Laborsilos technisch erreichbare T-Dichte war offenbar zu niedrig für einen ausreichenden Luftabschluß zur Einschränkung des Pilzbefalls und vor allem von *Penicillium roqueforti*. In den Faßsilos bildeten sich bei Luftereinfluß (Folienverschluß) sehr stark verschimmelte Randschichten aus, was durch die verwendeten Silierzusätze nicht wesentlich eingeschränkt werden konnte. Bei höherem T-Gehalt wurde in den Randschichten eine stärkere Rückdehnung festgestellt, wodurch Luftereinwirkung und Pilzbefall noch weiter verstärkt wurden. In den Kernschichten dagegen wurde der Luftabschluß mit steigendem T-Gehalt bzw. höherer T-Dichte offenbar verbessert und ein Pilzbefall tendenziell eingeschränkt. Hier war auch ein Effekt der Silierzusätze erkennbar. Bei sehr gutem Luftabschluß (Deckelverschluß) wurde ein Pilzwachstum nahezu unterbunden.

4.2.3 Mykotoxingehalt

In **Versuch L 1** mit Silierzusätzen konnte versuchstechnisch bedingt keine Mykotoxinanalyse vorgenommen werden. In den **Versuchen L 2 und L 3** war nur eine Probe toxinpositiv. In den **Versuchen L 4 und L 5** wurde durch die Beimpfung des Siliergutes mit *Penicillium roqueforti* - Stämmen in den Silagen eine Bildung von Roquefortin C provoziert. Dadurch sollte bei verstärkter Luftereinwirkung gezielt die Einflußnahme von Aufwuchs, T-Gehalt und Folienlagenzahl auf die Mykotoxinbildung untersucht werden. Die in der Sporensuspension gebildete und mit der Beimpfung in das Siliergut eingebrachte Mykotoxinmenge betrug etwa 0,11 mg ROF/kg FM. Die in den beimpften Silagen nach jeweils 1 Monat Lagerung festgestellten Roquefortin C-Gehalte werden in Abb. 25 dargestellt. Die Silagen vom 2. Aufwuchs (L 4) wiesen einen tendenziell geringeren Toxingehalt auf. Im vergleichbaren Bereich von T-Gehalt und T-Dichte (etwa 350-400 g/kg bzw. 140-150 kg T/m³) war der Toxingehalt in den Silagen vom 2. Aufwuchs nur etwa halb so groß wie der Toxingehalt in den Silagen vom 3. Aufwuchs (L 5). Das Welken des Siliergutes bewirkte in der Regel bei beiden Versuchen bzw. Aufwüchsen eine Abnahme der Mykotoxinbildung in den Silagen. In den Silagen vom

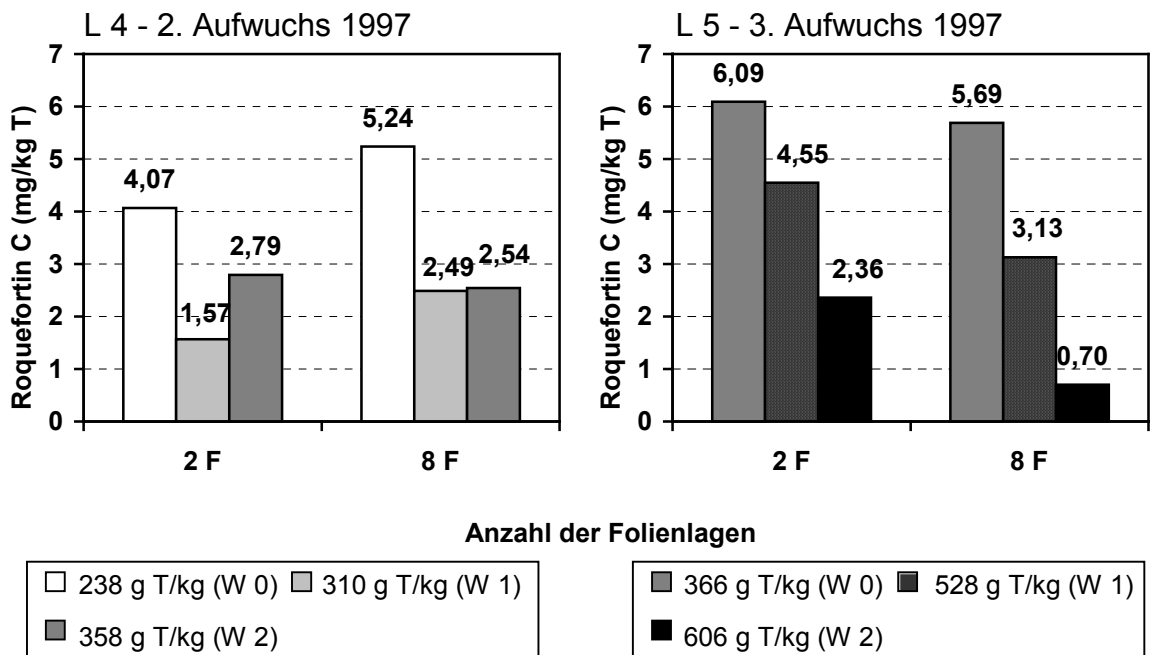


Abb. 25: Versuche L 4 und L 5 - Einfluß von Aufwuchs, T-Gehalt und Folienlagenzahl auf den Mykotoxingehalt in beimpften Silagen bei verstärkter Lufteinwirkung, 1 Monat Lager (n = 1-2)

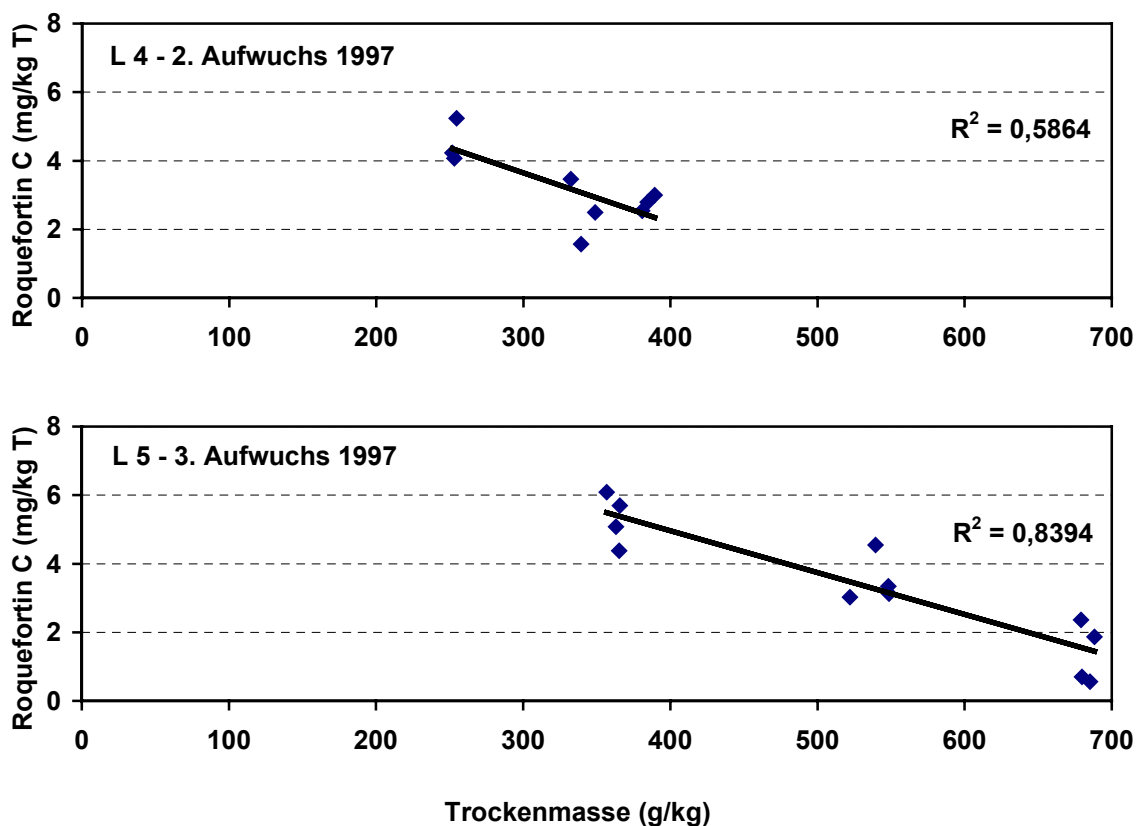


Abb. 26: Versuche L 4 und L 5 - Beziehung zwischen T-Gehalt und Roquefortin C-Gehalt in mit *Penicillium roqueforti* beimpften Silagen bei verstärkter Lufteinwirkung, 1 Monat Lager (n = 1-2)

3. Aufwuchs war jedoch eine deutlichere Beziehung zwischen T-Gehalt und Roquefortin C-Gehalt erkennbar (Abb. 26). Weiterhin wurde mit steigendem T-Gehalt bzw. höherer T-Dichte der Mykotoxingehalt tendenziell auch durch eine höhere Folienlagenzahl verringert. Hierbei muß jedoch einschränkend beachtet werden, daß es sich nur um 2 Versuche mit insgesamt 21 Proben handelte. Zusammenfassend war der Umfang der Mykotoxinbildung in den Silagen vom 2. gegenüber den Silagen vom 3. Aufwuchs tendenziell geringer. Den größten Einfluß auf die in den Silagen jeweils gebildete Toxinmenge übten jedoch anscheinend T-Gehalt und T-Dichte aus. Durch die Erhöhung des T-Gehaltes bzw. der T-Dichte verringerte sich tendenziell die Mykotoxinbildung in den Silagen.

4.3 Pilzwachstum und Ergosteringehalt

In der Literatur wird davon ausgegangen, daß Pilzwachstum mit Ergosterinbildung verbunden ist. Zur genaueren Beurteilung des Pilzbefalls wird zusätzlich zur Pilzkeimzahl- die Ergosterinbestimmung empfohlen [MÜLLER und SCHWADORF, 1988; SCHWADORF, 1995; SARAF et al., 1997].

Dichte- Be- reich	Ergosterin-Bereich (mg ERG/kg T)																Σ n				
(kg T/ m³)	≤ 50 - 60				> 60 - 70				> 70 - 80				> 80 - 90				> 90				Σ n
>150 -170					◇											◆			◇	1 ◆ 1	
>170 -190						◆	◇						◇	◆		◇	◆	◇◇	◇	◇ 6 ◆ 6	
>190 -270																					
>270 -290	◇											◇	◆							◇ 2 ◆ 2	
>290 -310			◆		◇		◇					◆				◇	◆			◇ 3 ◆ 3	
>310 -330		◆		◆		◆	◇	◇◇	◆	◇		◇◇	◇	◇◇	◆					◇ 9 ◆ 9	
>330							◇◆				◇									◇ 2 ◆ 2	
Σ n	0	3	1	2	1	2	7	5	1	1	1	2	4	3	1	1	2	3	4	2	46
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	
Anzahl der Folienlagen																					

(jedes der 46 Kästchen stellt eine Silageprobe dar)

◇ Probe aus Randzone ◆ Probe aus Kernzone

Abb. 27: Versuch P 3 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf den Ergosteringehalt in Rand und Kern der Silagen (n: R = 14 / C = 32)

In den Abb. 27 und 28 wird der Einfluß des Luftabschlusses auf die Ergosterinbildung in den Praxisversuchen dargestellt, wo mit 330 Silageproben ein relativ guter Stichprobenumfang vorlag. Jedes Kästchen stellt eine Probe dar. Der Versuch P 3 wird separat dargestellt. Hier lag bereits im

Dichte- Be- reich (kg T/ m³)	Ergosterin-Bereich (mg ERG/kg T)																Σ n					
	≤ 30				> 30 – 40				> 40 - 50				> 50 - 60					> 60				
>150 –170	■				■	■	■	□		■	■			□	■		□	□	□		□	■
>170 –190	■	□	■		□	■	□	■	□	□		□	■		■		□	□	□	□	□	■
>190 –210			■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	■	
>210 –230	■			□	□	□	□	□		■	□	■	■		□	□	□	□	□	□	■	
>230 –270																						
>270 –290	■	□	□	□	□	□	□	□	□	■			□	□							□	■
>290 –310	□	□	□	□	□	■	□	□	■	■	□	□		□			□		□		□	■
>310 –330	■	□	□	■		■		□	■					□	□			□	□		□	■
>330	□	■	■	□		□	□	□	□	□		□					□	□			□	■
Σ n	10	17	18	19	19	28	26	26	15	11	15	14	5	6	9	4	23	10	6	3	284	
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8		
	Anzahl der Folienlagen																					

(jedes der 284 Kästchen stellt eine Silageprobe dar)

□ Probe aus Randzone ■ Probe aus Kernzone

Abb. 28: Versuche P 1, P 2, P 4 und P 5 - Einfluß von Lagerungsdichte und Folienlagenzahl auf den Ergosteringehalt in Rand und Kern der Silagen (n: R = 108 / RS = 60 / C = 116)

Siliergut ein relativ hoher Ergosteringehalt (54 mg/kg T) vor. Der Ergosteringehalt in den Silagen war bei relativ geringer T-Dichte breiter gestreut als bei hoher T-Dichte und erreichte häufig auch im Kernbereich der Ballensilagen selbst bei 6 und 8 Folienlagen vergleichsweise hohe Werte. Mit zunehmender Verdichtung wurde eine tendenziell geringere Ergosterinbildung in den Silagen festgestellt. Die Lagerungsdichte übte im Vergleich zur Folienlagenzahl anscheinend einen größeren Einfluß auf die Ergosterinbildung aus. Der Luftabschluß der Silagen hatte demnach nahezu ähnliche Auswirkungen sowohl auf die Ergosterinbildung als auch auf die Entwicklung der Pilzkeimzahl. Zwischen den jeweils ermittelten Werten der Parameter Pilzkeimzahl und Ergosteringehalt wurde bei den Silageproben aber nur teilweise wie z.B. in den Versuchen L 1 und P 1 (Abb. 29) ein tendenzieller Zusammenhang festgestellt. Bei den Praxissilievierversuchen (n = 330) insgesamt kann die Beziehung zwischen beiden Parametern nur als relativ gering eingeschätzt werden (Abb. 29).

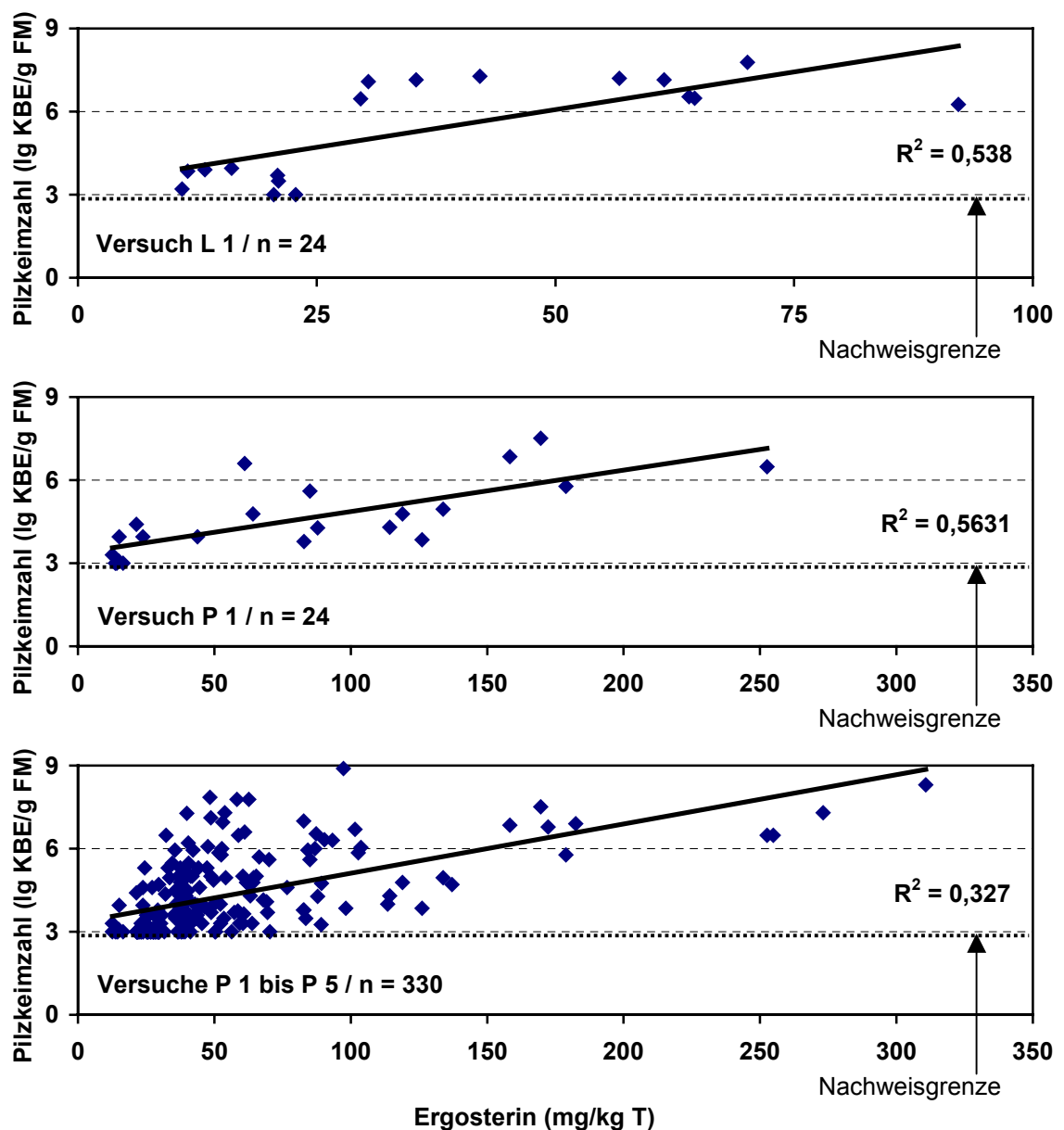


Abb. 29: Beziehung zwischen Pilzkeimzahl und Ergosteringehalt in ausgewählten Versuchen

gegenüber der Pilzkeimzahlbestimmung war die auch aus eingefroren und / oder getrocknet gelagerten Proben mögliche Analyse, die damit nicht unmittelbar nach der Probenahme erforderlich war. Als wesentlicher Vorteil der Ergosterin- gegenüber der Pilzkeimzahlbestimmung erwies sich, daß alle Silagen prinzipiell aufgrund ihres Ergosteringehaltes differenziert werden konnten. Auch Silagen, die anhand der Pilzkeimzahl als mikrobiologisch unbedenklich einschätzbar waren bzw. in denen die Pilzkeimzahl bei der Auslagerung unterhalb der Nachweisgrenze lag, konnten bezüglich der Ergosterinbildung unterschiedlich eingeschätzt werden (Abb. 30). Eine Beurteilung und vergleichende Wertung der während der Lagerung in den Silagen stattgefundenen Ergosterinbildung war schwierig, wenn wie in Versuch P 3 bereits im Siliergut ein relativ hoher Ergosteringehalt vorlag.

Insgesamt konnte in den Untersuchungen anhand des zusätzlich bestimmten Ergosteringehaltes der Einfluß der Varianten von Verdichtung und Folienlagenzahl auf das Pilzwachstum in den Silagen umfassender beurteilt werden. Schlußfolgernd kann angenommen werden, daß bei der Lagerung von Futtermitteln ein eventueller Befall durch Schimmelpilze durch eine zusätzlich zur Analyse der Pilzkeimzahl durchgeführte Bestimmung des Ergosteringehaltes besser einzuschätzen ist.

4.4 Gasdurchlässigkeit von Silierstretchfolie

Ziel der Versuche war, die angewandten Varianten der äußeren Luftabschlußgüte von 2 bis 8 Folienlagen physikalisch zu definieren und mit den angegebenen technischen Daten der Hersteller bzw. der zuständigen Prüfstelle zu vergleichen. Die Untersuchungen sollten sowohl Aufschluß über die Diffusionseigenschaften der einzelnen Varianten der äußeren Luftabschlußgüte als auch über den Nutzeffekt einer Erhöhung der Folienlagenzahl in bezug auf die Gasdurchlässigkeit geben.

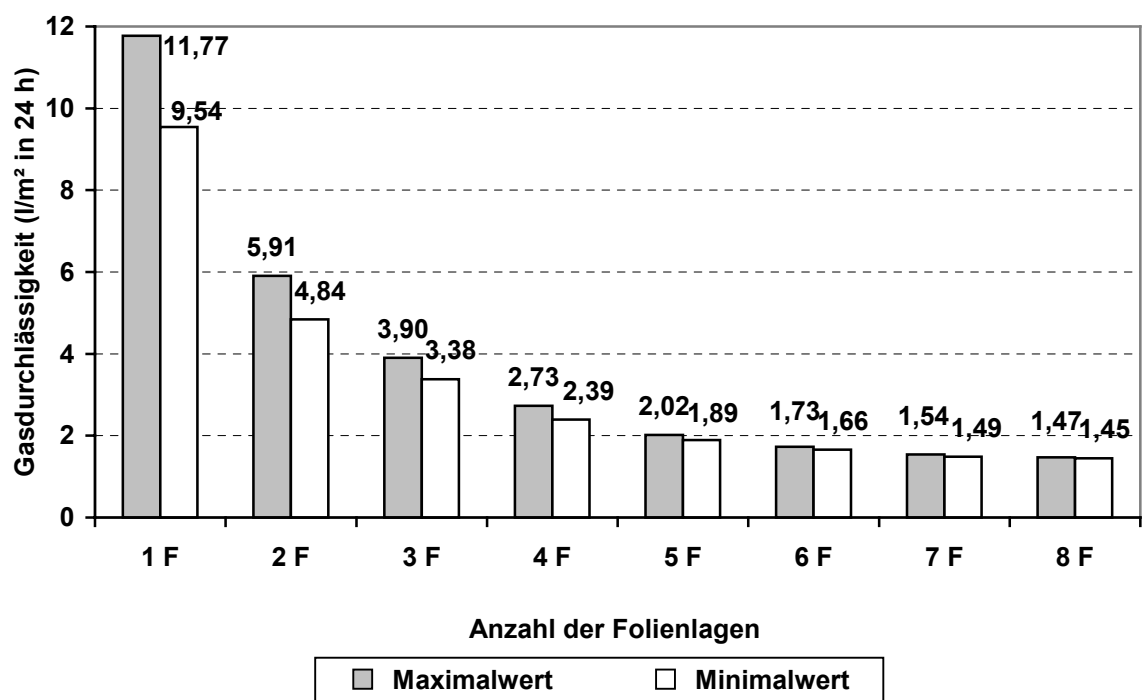


Abb. 31: Gasdurchlässigkeit bei unterschiedlicher Anzahl von Stretchfolienlagen (1 F bis 8 F)

Auffallend bei den Untersuchungen war, daß es insbesondere bei geringen Folienlagenzahlen zu kurzfristigen Schwankungen in der Gasdurchlässigkeit kam. Da Windeinwirkungen und Temperaturschwankungen ausgeschlossen werden konnten, wurde dies auf Änderungen des atmosphärischen Luftdrucks während der Messungen zurückgeführt. Bei den während des Untersuchungszeitraums gemessenen Luftdruckwerten wurden tägliche Schwankungen bis zu 25 mbar festgestellt. Diese Beobachtung wurde durch Luftdruckdaten vom Deutschen Wetterdienst Potsdam bestätigt. Die bei den einzelnen Folienlagen gemessene Gasdurchlässigkeit ist in Abb. 31 dargestellt. Hierbei werden die bei den einzelnen Folienlagenzahlen jeweils gemessenen Maximal- und Minimalwerte der Gasdurchlässigkeit angegeben. Die Schwankungsbreite betrug bis 2,2 l/m² in 24 h.

Mit zunehmender Folienlagenzahl wurde der Nutzeffekt bezüglich der physikalischen Gasdurchlässigkeit geringer. Bei einer Erhöhung von 4 auf 6 Folien verringerte sich die Gasdurchlässigkeit um 0,7–1,0 l/m² in 24 h, von 6 auf 8 Folien wurde nur noch eine Abnahme um 0,2 – 0,3 l/m² in 24 h erreicht. Mit zunehmender Folienlagenzahl erhöht sich aber in jedem Fall die mechanische Stabilität gegen eventuelle Verletzungen der Hülle durch Vögel oder bei Lagerung und Transport. Die verwendete Preßballenstretchfolie AGRI-STRETCH: weiß / uv-stabilisiert / 500 mm breit / 0,025 mm stark (UNTERLAND) ist „DLG anerkannt“. Von der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) wird für diese Stretchfolie eine Sauerstoffdurchlässigkeit von maximal 12,29 l/m² in 24 h bei 1 Folienlage angegeben [N.N., 1992]. In den eigenen Untersuchungen wurde eine Gasdurchlässigkeit von maximal 11,77 l/m² in 24 h gemessen. Dieser Wert stimmt in seiner Größenordnung mit der DLG - Messung nach DIN 53380, bei der eine andere Meßmethode angewandt wird, überein.

4.5 Aerobe Stabilität der Silagen

4.5.1 Methodenvergleich

In den Versuchen P 2 bis P 5 sowie L 2 bis L 4 wurde nach der Auslagerung der Temperaturverlauf in den Silagen erfaßt. Bei den Silagen der Versuche P 2 bis P 5 wurde darüber hinaus parallel der Sauerstoffverbrauch bestimmt. Für die Messung des Sauerstoffverbrauchs standen nur 12 Meßplätze gleichzeitig zur Verfügung. In den Versuchen P 2 bis P 5 wurden dadurch bedingt einheitlich nur die Proben aus den Kernzonen der Silageballen auf ihren Sauerstoffverbrauch hin analysiert. Bei den Silagen wurde als aerob instabil ein Temperaturanstieg von mehr als 1 K/100 g T bzw. ein Sauerstoffverbrauch von mehr als 0,5 g O₂/50 g T gewertet [WOLTHUSEN et al., 1989]. Die Ergebnisse der Methoden wurden miteinander verglichen. Die Auswertung ist in Abb. 32 dargestellt.

Bei einheitlicher Untersuchungsdauer von 7 Tagen stimmten die Ergebnisse beider Methoden bei 71 von 107 untersuchten Silagen in ihrer Aussage miteinander überein. Nur bei einer Silage war die Abweichung größer als 3 Tage. Das Gerätesystem zur Messung des Sauerstoffverbrauchs bei den Silagen kann in dem Zusammenhang allgemein als genauer und sensibler angesehen werden. Bei über 80 % der untersuchten Silagen betrug die Abweichung jedoch höchstens 1 Tag, weshalb die angewandte Methode zur Messung des Temperaturanstiegs als hinreichend genau für Routine-

untersuchungen und die Beurteilung der Silagen in der Praxis eingeschätzt werden kann. Die Messung des Temperaturanstiegs war gegenüber der Messung des Sauerstoffverbrauchs vor allem in der Handhabung einfacher und robuster. Weiterhin konnten für einen Meßplatz zur Erfassung des Temperaturanstiegs wesentlich niedrigere Investitionskosten veranschlagt werden. Die Analysenkapazität bezüglich der Anzahl gleichzeitig untersuchter Silagen war auch dadurch bedingt bei der Messung des Temperaturanstiegs erheblich größer als bei der Messung des Sauerstoffverbrauchs.

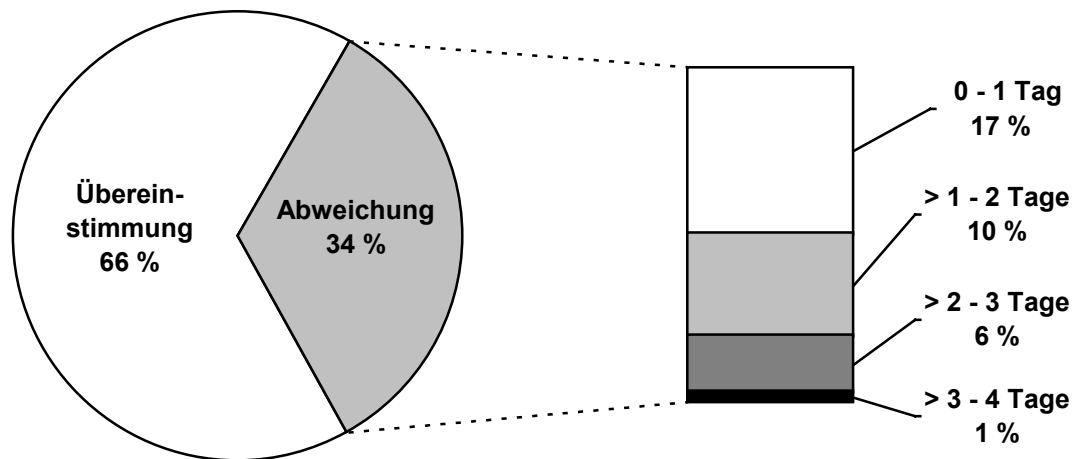


Abb. 32: Versuche P 2 bis P 5 - Vergleich der Meßergebnisse von zwei Methoden (Temperaturanstieg / Sauerstoffverbrauch) zur Beurteilung der aeroben Stabilität von Silagen (n = 107)

4.5.2 Aerobe Stabilität und Luftabschluß

Die 306 Silagen der Versuche P 2 bis P 5 wurden bezüglich ihres Temperaturanstiegs miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Tab. 20 dargestellt. Die aerobe Stabilität ist taggenau unterteilt. In den Versuchen P 2 bis P 4 wurde bei den Silagen meist eine aerobe Stabilität von mehr als 2-3 Tagen festgestellt. Bei den Silagen aus dem Kernbereich wurde gegenüber den Silagen aus dem Randbereich der Ballensilagen in allen Versuchen durchschnittlich eine längere Dauer der aeroben Stabilität beobachtet. In Versuch P 2 enthielten vor allem die Rundballen- mehr Buttersäure als die Compactrollensilagen und wiesen daher tendenziell eine längere Dauer der aeroben Stabilität auf. Die längste Dauer der aeroben Stabilität wurde bei den überwiegend stark buttersäurehaltigen Silagen in den Versuchen P 3 und P 4 festgestellt. In Versuch P 5 waren die Silagen im wesentlichen buttersäurefrei und wiesen dadurch bedingt eine deutlich kürzere Dauer der aeroben Stabilität auf.

Buttersäurehaltige Silagen gelten als relativ aerob stabil [PAHLOW, 1991]. In buttersäurefreien Silagen ist der Essigsäuregehalt ein wesentliches Kriterium für die aerobe Stabilität [WOLTHUSEN et al., 1989]. Essigsäure war in allen Ballensilagen jedoch nur wenig vorhanden. Hinsichtlich des Einflusses von T-Dichte und Folienlagenzahl auf die aerobe Stabilität von Silagen werden in Abb. 33 nur buttersäurefreie Silagen miteinander verglichen. Es wurden die nahezu buttersäurefreien Compactrollen- und Rundballensilagen aus Versuch P 5 nach 2 und 4 Monaten Lagerung ausgewählt.

Tab. 20: Versuche P 2 bis P 5 - Aerobe Stabilität (Temperaturanstieg) in Rand und Kern der Silagen bei Unterteilung in die einzelnen Varianten der Verdichtung (C / R / RS)

V	LDI	Aerobe Stabilität der Silagen - Zeitdauer bis zum Temperaturanstieg von ΔT = > 1 Grad Kelvin (Angabe der Probenzahl)														Σ n		
		> 0 – 1 Tag		> 1 – 2 Tage		> 2 – 3 Tage		> 3 – 4 Tage		> 4 – 5 Tage		> 5 – 6 Tage		> 6 – 7 Tage			> 7 Tage	
Silozone		Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Ra	Ke	Σ n
P 2	R					1	1	5	4	6	4	2	2	1	3	1	2	32
	C	5	6			2		1	3	4	2			2		2	5	32
P 3	R			1		2		1		1	2	1				1	5	14
	C	2		1	2	1		1		3	1	1	1		2	7	10	32
P 4	R							1		1			1	1	1	1	1	40
	RS	1		1				1				1				16	20	40
	C			1								1		1		17	20	40
P 5	R	1		2	3	5	1	2	3	1	2	1	3					24
	RS	2	1	3	1		1	1	1	2	3	2	3					20
	C	2	1	1		5	4	5	5	3	3		2				1	32
Σ n		13	8	10	6	16	7	18	16	21	17	9	12	5	6	61	81	306

Dichte- Bereich (kg T/m³)	Aerobe Stabilität der Silagen - Zeitdauer bis zum Temperaturanstieg von $\Delta T = > 1$ Grad Kelvin												Σn
	> 0 – 2 Tage				> 2 – 4 Tage				> 4 – 6 Tage				
> 170 – 200	○ ○ ●	●			●	○ ○ ●	○ ○	○ ●			○ ● ● ●	○ ●	○ 9 ● 9
> 200 – 230	○ ●					○		○ ●		●			○ 3 ● 3
> 230 – 270													
> 270 – 310	○ ●		○		○ ●	○ ○	●	○ ●		● ●		○ ●	○ 7 ● 7
> 310 – 350	○				●	○ ●	○ ○ ● ●	○ ●					○ 5 ● 5
Σn	8	1	1	0	4	8	7	8	0	3	4	4	48
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	
	Anzahl der Folienlagen												

(jedes der 48 Kästchen stellt eine Silageprobe dar)

○ Probe aus Randzone ● Probe aus Kernzone

Abb. 33: Versuch P 5 - Einfluß von T-Dichte und Folienlagenzahl auf die aerobe Stabilität (AE-T) in Rand und Kern von 2 und 4 Monate gelagerten buttersäurefreien Silagen (n: R=24 / C=24)

Die aerobe Stabilität der buttersäurefreien Silagen im unteren Dichtebereich (Rundballen) war relativ breit gestreut. Demgegenüber war die aerobe Stabilität der buttersäurefreien Silagen im oberen Dichtebereich (Compactrollen) einheitlicher. Bei den meisten Silagen, vor allem den Compactrollen, betrug die Dauer der aeroben Stabilität etwa 2-4 Tage. Mit zunehmendem Luftabschluß verbesserte sich allgemein die aerobe Stabilität der Silagen. Bei nur 2 Folienlagen betrug die Dauer der aeroben Stabilität bei weit mehr als der Hälfte der jeweiligen Silagen weniger als 2 Tage. Ab 4 bis 6 Folienlagen dagegen war die Dauer der aeroben Stabilität meist mehr als 2 Tage. Ab 8 Folienlagen wiederum wurde bei den jeweiligen Silagen eine Dauer der aeroben Stabilität von mindestens 2 Tagen festgestellt, bei einem Drittel der Silagen (8 Folienlagen) betrug sie mehr als 4 Tage.

Die Beziehung zwischen der Dauer der aeroben Stabilität und der jeweils ermittelten Pilzkeimzahl in den buttersäurefreien Silagen aus Versuch P 5 wird in Abb. 34 dargestellt. Hier wird tendenziell der Zusammenhang deutlich, daß bei den buttersäurefreien Silagen die Dauer der aeroben Stabilität um so länger war, je geringer die bei der Auslagerung in den Silagen vorliegende Pilzbelastung war. Dabei ist zu berücksichtigen, daß methodisch bedingt die aerobe Stabilität der Silageproben nicht unmittelbar aus derselben in Ringerlösung extrahierten Probeneinwaage für die Pilzkeimzahlbestimmung ermittelt werden konnte. Die für beide Analysen jeweils verwendeten Probeneinwaagen wurden jedoch aus denselben Silageproben (Rand / Kern) eines Silageballens entnommen.

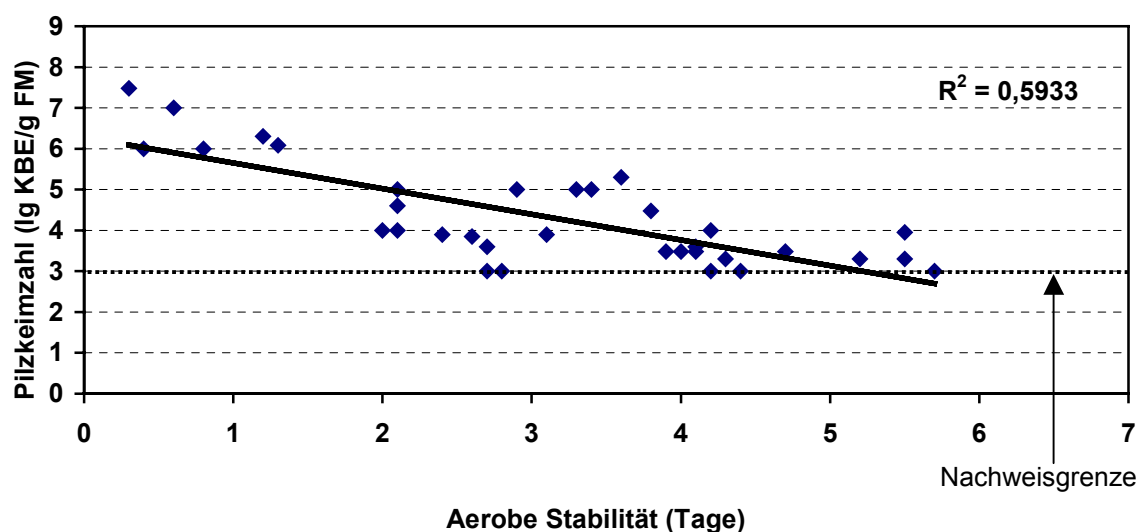


Abb. 34: Versuch P 5 - Beziehung zwischen aerober Stabilität (Temperaturanstieg) und Pilzkeimzahl (lg) in 2 und 4 Monate gelagerten buttersäurefreien Silagen (n: R=24 / C=24)

4.6 Toxinbildungsvermögen von *Penicillium roqueforti*-Isolaten

Ziel der Untersuchung des Roquefortin C-Bildungsvermögens von *Penicillium roqueforti* - Isolaten war die Selektion von natürlich in Grassilagen vorkommenden und toxinbildungsfähigen Impfkultu-

ren für die Laborsiliverversuche L 4 und L 5. Weiterhin war von Interesse, ob Zusammenhänge zwischen dem Roquefortin C-Bildungsvermögen der Isolate und einem Roquefortin C-Vorkommen in den entsprechenden Silagen bestanden, aus denen die Pilzstämme isoliert wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Tab. 21 angegeben. Die Protokolle der DSMZ über die Identifizierung der Impfkulturen für die Versuche L 4 und L 5 sind in Abb. A 17 bis A 19 dargestellt.

Alle aus Grassilagen isolierten *Penicillium roqueforti* - Stämme bildeten unter den Versuchsbedingungen (Grassilagemedium, 14 Tage aerobe Inkubation bei Raumtemperatur) teilweise relativ hohe Mengen an Roquefortin C. Die drei nicht toxinbildenden Pilzstämme wurden aus dem Siliergut des Praxissiliverversuches P 3 isoliert. Sie wuchsen auf dem Grassilagemedium nicht an. Nur bei einem Drittel der Isolate wurde in den Silagen, aus denen die Pilze stammten, Roquefortin C nachgewiesen. Ein potentielles Bildungsvermögen für dieses Mykotoxin war jedoch bei fast allen *Penicillium roqueforti* - Isolaten vorhanden. Das „Nicht - Vorhandensein“ von Roquefortin C in den Silageproben konnte nicht auf ein fehlendes Toxinbildungsvermögen der aus diesen Silagen isolierten Pilzstämme zurückgeführt werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Toxingehalten in den Proben und den durch die Stämme im Labor gebildeten Toxinmengen bestand jedoch nicht.

Die „Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH“ (DSMZ) überprüfte und bestätigte die als Impfkulturen für die Versuche L 4 und L 5 ausgewählten *Penicillium roqueforti* - Isolate Pc.24 und Pc.38. Die eigenen mikrobiologischen Bestimmungen waren damit als relativ genau einzuschätzen. Die Isolate wurden unter „*Penicillium roqueforti* DSM 11484“ (= Pc.24) bzw. „*Penicillium roqueforti* DSM 11485“ (= Pc.38) in die öffentliche Sammlung der DSMZ übertragen.

Tab. 21: Toxinbildungsvermögen von aus Grassilagen isolierten *Penicillium roqueforti* - Stämmen (Nährmedium: Grassilage, 14 Tage abgedunkelt bei Raumtemperatur aerob inkubiert)

Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T	Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T	Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T	Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T	Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T	Isolat Pc.- Nr.	ROF mg/kg T
1 ¹⁾	28,90	8	46,07	15	43,75	22	40,05	29	74,25	36	n.n.
2	46,43	9	7,90	16	46,10	23	68,80	30	43,21	37 ¹⁾	58,90
3	18,28	10	39,21	17	59,70	24 ^{1), 2)}	89,95	31	n.n.	38 ^{1), 2)}	87,15
4	14,99	11 ¹⁾	24,96	18	47,40	25	56,80	32 ¹⁾	30,40	39 ¹⁾	19,85
5	24,42	12	23,63	19	58,90	26	39,45	33 ¹⁾	20,00	40 ¹⁾	39,90
6 ¹⁾	34,28	13	37,35	20 ¹⁾	28,35	27	54,90	34	5,07	41 ¹⁾	36,65
7	12,15	14	10,25	21	40,95	28	77,90	35	n.n.	42 ¹⁾	33,05

¹⁾ – In der Silageprobe, aus der das Isolat stammte, wurde Roquefortin C nachgewiesen. ²⁾ – Pilzisolat wurde von der DSMZ überprüft und bestätigt

5. Diskussion

In den Praxissilierversuchen ermöglichte die Verwendung unterschiedlicher Ballenpressen eine relativ breite Variantengestaltung bei den erzeugten Silagen (mit vertretbaren Kosten). Die erreichten Stufen von Lagerungsdichte und äußerer Luftabschlußgüte repräsentierten Lagerungsbedingungen von praxisüblichen Verfahren wie Silo- und Ballen-Silierverfahren. Die gewonnenen Ergebnisse werden in bezug auf Silagen aus konventionell erzeugtem Grünfutter als übertragbar angesehen. Mit den Silierversuchen unter Laborbedingungen wurden Einflußfaktoren untersucht, die technisch bedingt in der Praxis nicht geprüft werden konnten. Die Ergebnisse der Praxis- und Laborsilierversuche sind jedoch nur bedingt miteinander vergleichbar. Parameter wie die Schichthöhe der Silagen stimmten nicht überein und es lagen verschiedene Produktions- und Lagerbedingungen vor.

Besondere Schwierigkeiten bei der Probenahme bei den Ballensilagen führten dazu, daß auch die Proben, die hinsichtlich der Gärqualität beurteilt wurden, teilweise verschimmelte Silage enthielten. Die Einschätzung der Gärqualität der Silagen wurde hierdurch beeinträchtigt. Vor allem konnten die Einflußfaktoren auf Gärqualität und Pilzbefall nicht eindeutig getrennt voneinander untersucht werden. Eine andere Form der Probenahme als die angewandte Methode war unter den gegebenen versuchstechnischen Bedingungen nicht praktikabel. Es wird davon ausgegangen, daß prinzipiell aus den Ergebnissen verallgemeinerungsfähige Schlußfolgerungen gezogen werden können.

5.1 Gärqualität der Silagen

Die Gärqualität von Silagen wird vor allem am Gehalt unerwünschter Gärprodukte gemessen. In den eigenen Untersuchungen wurde bezüglich Buttersäure nur n-Buttersäure analysiert. Deren Gehalt macht jedoch in der Regel den größten Anteil der in Silagen vorkommenden Buttersäure aus. Ausgehend von dem gemessenen Gehalt an n-Buttersäure war deshalb eine gute Beurteilung der Gärqualität zu erwarten. Das Siliergut konnte nach dem Vergärbarkeitskoeffizient in 4 von 5 Praxissilierversuchen als ausreichend vergärbar eingeschätzt werden. In den Laborsilierversuchen war das Siliergut nur bei einem T-Gehalt oberhalb 500 g/kg als ausreichend vergärbar einzuschätzen.

Ungewöhnlich war in den durchgeführten Praxissilierversuchen, daß bei einem **T-Gehalt** unterhalb 400 g/kg in allen Ballensilagen überwiegend nur eine sehr schlechte bis schlechte Gärqualität erreicht wurde. Unabhängig von der Lagerungsdichte waren die Silagen mehr oder weniger buttersäurehaltig. Nach dem Vergärbarkeitskoeffizient (VK) des Ausgangsmaterials war zumindest in Versuch P 4 (VK = 55) eine Buttersäurebildung nicht zu erwarten gewesen. In der Literatur wird eine unerwartete Buttersäurebildung trotz ausreichender Vergärbarkeit des Siliergutes nach VK-Werten vor allem auf das Fehlen von Nitrat im Siliergut zurückgeführt [KAISER et al., 1994; KAISER und WEISS, 1997]. In den eigenen Untersuchungen wurde das Siliergut unter den Bedingungen einer extensiven Grünlandwirtschaft erzeugt (keine Maßnahmen einer Stickstoffdüngung, relativ späte Schnittzeitpunkte) und war dadurch bedingt weitgehend nitratfrei (weniger als 1,0 g NO₃/kg T).

Im T-Bereich oberhalb 450 bis etwa 500 g/kg wurden in den Praxissilierversuchen teilweise weitgehend buttersäurefreie Ballensilagen mit geringen Ammoniakgehalten und relativ niedrigen pH-Werten erreicht. Gemessen daran wurde in den jeweiligen Silagen eine sehr gute Gärqualität erzielt, die jedoch wegen der sehr niedrigen Essigsäuregehalte nach dem DLG-Schlüssel abzuwerten war. Diese gute Gärqualität wurde aber nur bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollen ($> 270 \text{ kg T/m}^3$) und ab einer äußeren Luftabschlußgüte von 6 Folienlagen erzielt. Anscheinend wurde in den buttersäurehaltigen Ballensilagen kein ausreichender Luftabschluß erreicht.

Eine schlechte Gärqualität bei Grassilagen und vor allem Ballensilagen wird häufig auf einen unzureichenden Welkgrad im Siliergut zurückgeführt [WOOLFORD, 1984; ZIMMER, 1987]. Feuchtigkeit ist für das Wachstum buttersäurebildender Clostridien ein kritischerer Faktor als für das Wachstum von Milchsäurebakterien [LINDGREN et al., 1985]. Eine Clostridienhemmung erfolgt um so eher, je geringer die Wasseraktivität und höher die Konzentration undissoziierter Gärsäuren (vor allem Essigsäure) in Silagen ist [WEISSBACH et al., 1974; CATO et al., 1986; JONSSON und LINDGREN, 1989]. Das Anwelken des Grünfutters verbessert die erreichbare Gärqualität [DELLAGLIO, 1985; HONIG, 1987; WEISSBACH, 1993]. In der Literatur werden jedoch unterschiedliche Mindest-T-Gehalte angegeben. Nach MCDONALD et al. werden Clostridien ab einem T-Gehalt von 300 g/kg allgemein gehemmt [MCDONALD et al., 1991]. In Ballensilagen dagegen sehen JONSSON et al. einen T-Gehalt von 350 g/kg als zu niedrig hierfür an [JONSSON et al., 1990]. In den eigenen Untersuchungen war unter praxisüblichen Bedingungen der Ballensilierung bei dem vorliegenden extensiv erzeugten Grünfutter offenbar ein T-Gehalt von mindestens ca. 450 g/kg im Siliergut notwendig.

Bezüglich des **Epiphytenbesatzes** im Siliergut wurde in den vorliegenden Untersuchungen hauptsächlich die Milchsäurebakterien- und die Pilzkeimzahl bestimmt. Die Milchsäurebakterienzahl war bei den Labor- höher als bei den Praxissilierversuchen. Nach Angaben in der Literatur kann angenommen werden, daß durch den mechanischen Reiz der versuchstechnisch bedingten Zerkleinerung des Siliergutes unmittelbar nach der Ernte die höhere Milchsäurebakterienzahl induziert wurde [HONIG, 1991; MCDONALD et al., 1991; LIN et al., 1992]. In den Silierversuchen mit Laborsilos war das Siliergut bei einem T-Gehalt unterhalb 400 g/kg allgemein als unzureichend vergärbar einzuschätzen. Es fiel auf, daß ungeachtet dessen in jedem Versuchsjahr in den Silagen vom 2. Aufwuchs gegenüber denen vom 3. Aufwuchs eine tendenziell bessere Gärqualität erzielt wurde. Es ist naheliegend anzunehmen, daß dies in den Laborsilierversuchen mit der in jedem Versuchsjahr beim 2. gegenüber dem 3. Aufwuchs höheren Besatzdichte der epiphytischen Milchsäurebakterienflora im Zusammenhang steht. Dadurch fand während der Einsilierung in den Silagen von den 2. Aufwüchsen offenbar ein schnellerer und intensiverer Aziditätsrückgang statt, wodurch eine bessere Gärqualität erzielt wurde. Ein wichtiger Einfluß auf die Gärqualität ist die Schnelligkeit, mit der der pH-Wert unter den kritischen Wert absinkt [WHITTENBURY et al., 1967; WOOLFORD, 1984]. Schnelligkeit und Ausmaß des Aziditätsrückgangs sind nicht nur von der Verfügbarkeit und Konzentration wasserlöslicher Kohlenhydrate und der Pufferkapazität des Siliergutes sondern auch von der Zusammensetzung und Besatzdichte der Milchsäurebakterienflora abhängig [PETTERSSON, 1988; WEISSBACH, 1993]. In den Praxissilierversuchen konnte jedoch bei ausreichendem Luft-

abschluß auch mit einer gegenüber den Laborsilierversuchen geringeren Milchsäurebakterienzahl im Siliergut eine gute Gärqualität der Silagen erreicht werden. Der epiphytische Besatz mit Milchsäurebakterien ist ein wichtiger Einflußfaktor, aber nicht von alleiniger Bedeutung für die erreichbare Gärqualität [PAHLOW und HONIG, 1986; PAHLOW und MÜLLER, 1990; MÜLLER et al., 1991].

Auffallend war in den Silierversuchen mit Laborsilos die im Versuchsjahr 1997 gegenüber 1996 durchschnittlich geringere Buttersäurebildung. Die Silagen vom 2. Aufwuchs 1997 waren nahezu buttersäurefrei. Als Erklärung dafür könnte angenommen werden, daß in den 1997 durchgeführten Laborsilierversuchen im Unterschied zu 1996 keine Schadkeimbelastung durch Erdeintrag vorgelegen hat. Darüber hinaus wurde das Siliergut 1997 auf einem besser gepflegten Grünland-Standort gewonnen. Nach Angaben in der Literatur ist auf extensiv bewirtschaftetem Grünland das mikrobielle Risiko (Clostridien, Enterobakterien) wegen verschmutzter Bestände und abgestorbenen Pflanzenmaterials allgemein höher [ZIMMER, 1990]. Clostridien gehören nicht zur ursprünglichen Mikroflora von Futterpflanzen, sondern gelangen während der Ernte infolge Erdeintrag in das Grünfutter [GIBSON, 1965]. In der Literatur wird die bei Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter häufig festgestellte verminderte Gärqualität u.a. auch auf eine höhere Schadbelastung des Grünfutters zurückgeführt [ZIMMER, 1990; OTTO et al., 1993; PROCHNOW, 1994]. Insbesondere in den Praxissilierversuchen wurde jedoch trotz Schadbelastung durch Erdeintrag, worauf die teilweise hohen Rohaschegehalte in Siliergut und Silagen hinweisen, vor allem in den Compactrollensilagen eine gute Gärqualität erzielt. Eine Beimpfung mit Schimmelpilzsporen übte in den Silierversuchen mit Laborsilos keinen erkennbaren Einfluß auf die Gärqualität aus. In den Praxissilierversuchen waren die 3. Aufwüchse allgemein höher mit Pilzen belastet als die 1. Aufwüchse. Trotzdem war in den Silagen von den 3. Aufwüchsen eine gute Gärqualität erreichbar. Offensichtlich ist die mikrobielle Schadbelastung des Siliergutes bei ausreichendem Luftabschluß von untergeordneter Bedeutung für die erreichbare Gärqualität. Zur Verminderung von Risiken für Gärqualität und Tiergesundheit ist ein Erd- und Schmutzeintrag während der Silagebereitung jedoch soweit wie möglich zu reduzieren. Hierzu zählen auch vorbeugende pflanzenbauliche Maßnahmen zur Pflege des Grünlands.

Die Grundlagen für einen ausreichenden Luftabschluß und eine gute Gärqualität in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter wurden in den vorliegenden Untersuchungen durch die Erzeugung einer hohen **Lagerungsdichte** geschaffen. Eine hohe Lagerungsdichte wurde vor allem mit einem neuartigen Preßverfahren erzielt. Silierverfahren wie Horizontal- und Hochsilos bieten gute Voraussetzungen für die Erzeugung einer hohen Lagerungsdichte [GIVENS et al., 1987; GIVENS et al., 1993]. Hier ist eine gute Gärqualität in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter ebenso möglich. In den Praxissilierversuchen konnte im T-Bereich oberhalb 450 bis etwa 500 g/kg bereits ab 4 Folienlagen bei der in den Compactrollen (C) erzeugten Lagerungsdichte ($> 270 \text{ kg T/m}^3$) gegenüber der in den Rundballen (R) erreichten Lagerungsdichte (etwa $150 - 210 \text{ kg T/m}^3$) durchschnittlich eine bessere Gärqualität im Rand- und Kernbereich der Silagen erzielt werden (niedrigerer Buttersäure- und höherer Milchsäuregehalt, niedrigerer pH-Wert). Im Kernbereich der Rundballensilagen (R) wurden auch bei 6 und 8 Folienlagen meist mäßige ($> 6-12 \text{ g/kg T}$) Buttersäuregehalte festgestellt. Dies weist auf einen stetigen, wenn auch geringen Lufteinfluß hin, der offenbar wegen zu

großem Porenvolumen aufgrund unzureichender Lagerungsdichte vom Rand- aus den Kernbereich erfaßt hat. Nach Angaben in der Literatur kommt es bei Lufteinfluß zu oxydativen Prozessen im Silo und wasserlösliche Kohlenhydrate für die Milchsäuregärung gehen verloren [ZIMMER, 1987]. Geringere Gärsäurenbildung und von aeroben Mikroorganismen verursachter Gärsäurenabbau fördern indirekt buttersäurebildende Clostridien [JONSSON, 1989; KWELLA und WEISSBACH, 1991]. Die Compactrollensilagen (C) dagegen waren ab 6 Folienlagen buttersäurefrei (≤ 3 g/kg T).

Es ist allgemein bekannt, daß in Silagen durch höheren Verdichtungsdruck ein geringeres Porenvolumen erzielt werden kann [MÜLLER, 1969]. Das gebildete Kohlendioxid wird besser zurückgehalten und nur relativ wenig atmosphärischer Sauerstoff kann eindringen. In den Praxissilivertischen wurden auch bei relativ hohem T-Gehalt des Siliergutes (oberhalb 500 g/kg) in den Compactrollen- gegenüber den Rundballensilagen tendenziell höhere Milchsäuregehalte und niedrigere pH-Werte festgestellt. In der Literatur wird bei relativ hohem T-Gehalt im Siliergut (500-650 g/kg) bei Ballensilagen häufig von verminderter Gärqualität berichtet [HAIGH und PEERS, 1992; BEAULIEU et al., 1993]. Dies wird überwiegend auf eine zu geringe Wasseraktivität zurückgeführt und es wird davon ausgegangen, daß eine ausreichende Vergärung nicht möglich war [GIVENS et al., 1987; HAIGH, 1990; JONSSON et al., 1990; HAIGH et al., 1996]. Mit steigendem T-Gehalt sinkt jedoch die Gärgasbildung im Silo und wegen des gleichzeitig zunehmenden Porenvolumens steigt der Anteil der Luft am Gasaustausch [RETTIG, 1972; FÜRL, 1973; KNABE et al., 1986]. Nach MÜLLER kann geringerer Lufteinfluß und Gasaustausch in Silagen nur mit einem kleineren Porenvolumen durch die Erhöhung der Lagerungsdichte erreicht werden [MÜLLER, 1969]. In den Praxissilivertischen wurde trotz geringer Wasseraktivität im Siliergut bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen aufgrund des offenbar verringerten Gasaustausches eine überwiegend gute Gärqualität mit nahezu buttersäurefreien Silagen erreicht. Die Abwertung der Gärqualität der Silagen nach dem DLG-Schlüssel erfolgte vor allem aufgrund der niedrigen Essigsäuregehalte. Inwieweit wegen niedriger Essigsäuregehalte die Gärqualität negativ zu werten ist, wird in der Literatur jedoch kritisch diskutiert [KAISER et al., 1998]. Es kann angenommen werden, daß eine bei hohem T-Gehalt im Siliergut verminderte Gärqualität der Silagen weniger auf geringe Wasseraktivität als vielmehr auf unzureichenden Luftabschluß infolge zu geringer Lagerungsdichte zurückzuführen ist.

Unabhängig vom T-Gehalt wurde ab 6 Folienlagen bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C) im Vergleich zu der geringeren Lagerungsdichte in den Rundballensilagen (R) eine ausgeglichene und bessere Gärqualität erreicht. In den Rundballensilagen (R) war häufig auch bei 6 und 8 Folienlagen der Rand- gegenüber dem Kernbereich von schlechterer Gärqualität. Darin dürfte ein weiteres Merkmal für den bei höherer Lagerungsdichte erreichbaren besseren Luftabschluß zu sehen sein. In den Compactrollen bestanden hinsichtlich des Porenvolumens offenbar geringere Unterschiede zwischen dem Rand- und Kernbereich als in den Rundballen. Die anaeroben Bedingungen im Rand- und Kernbereich der Compactrollensilagen waren dadurch anscheinend relativ einheitlich. Die Milchsäuregärung konnte hier in allen Bereichen fast in gleichem Umfang und dabei intensiver als in den geringer verdichteten Rundballensilagen (R) verlaufen. Es ist daher anzunehmen, daß mit steigender Verdichtung und zunehmendem Luftabschluß die Ver-

derbschicht (Randschicht) von Ballensilagen abnimmt. Nach Angaben in der Literatur wird mit Erhöhung der Lagerungsdichte in Silagen die durch Lufteinfluß während der Befüllung und Lagerung gefährdete Siliergutschicht bzw. Randschicht kleiner [KNABE et al., 1986; RETTIG und KLICH, 1986]. Darüber hinaus war auch die Gärqualität innerhalb der Wiederholungen einer Variante bei den Compactrollen- meist einheitlicher als bei den Rundballensilagen. Eine unausgeglichene Qualität von Ballensilagen ist ein in der Praxis oft genanntes Problem [KELLER et al., 1997]. Eine unterschiedliche Gärqualität innerhalb eines Silos wird überwiegend auf inhomogenes Siliergut zurückgeführt [WOOLFORD, 1984; LINDGREN et al., 1985; JONSSON, 1989; PETTERSSON und LINDGREN, 1990]. Es wird aber darauf verwiesen, daß eine gleichmäßige Verdichtung der Silagen mitunter schwer zu erreichen ist [MCDONALD et al., 1991]. Im Gärverlauf auftretende Unterschiede hängen nicht nur mit im Siliergut vorliegenden Differenzen in der Vergärbarkeit sondern auch oder zusätzlich mit ungleichmäßig verteiltem anaeroben Milieu im Silo zusammen [JONSSON et al., 1990; LINDGREN, 1991]. In den Praxissilierversuchen waren die Fermentationsbedingungen bei der hohen Lagerungsdichte der Compactrollen in den einzelnen Silageballen offenbar relativ einheitlich, wodurch nahezu homogene Futterpartien erzeugt werden konnten. Unter dem Aspekt, daß auf extensiv genutztem Grünland relativ häufig heterogene Pflanzenbestände vorliegen, ist bei den hier erzeugten Silagen eine hohe Lagerungsdichte daher von außerordentlicher Bedeutung.

In den Silierversuchen mit Laborsilos wurde der Einfluß höherer Verdichtung auf die Gärqualität vor allem bei der Variation der Lufteinwirkung deutlich (L 2 / L 3). Bei niedriger T-Dichte wiesen die Silagen mit durch Druckschwankungen verstärkter Lufteinwirkung gegenüber den Silagen mit normaler Lufteinwirkung auch bei hoher Folienlagenzahl eine allgemein schlechtere Gärqualität auf (höhere Buttersäuregehalte und pH-Werte). Mit steigender T-Dichte wurden diese Unterschiede zusehends geringer und die Gärqualität der Silagen verbesserte sich (höhere Milchsäure- sowie niedrigere Buttersäure- und Ammoniakgehalte). Anscheinend verringerte sich mit steigender T-Dichte der Einfluß der simulierten verstärkten Lufteinwirkung auf die in den Silagen erreichte Gärqualität. In der Literatur konnte in Laborsilierversuchen mit Kleinballen mit einer steigenden Verdichtung von 70 bis 250 kg T/m³ ebenfalls eine tendenziell bessere Gärqualität erreicht werden [KELLER, 1995].

Ab einem T-Gehalt oberhalb 500 g/kg lag in den Laborsilierversuchen (L 3 / L 5) gut vergärbare Siliergut vor. Bei der hier realisierten T-Dichte von etwa 200 bis 210 kg T/m³ wurden fast unabhängig von der Lufteinwirkung in jedem Versuchsjahr Silagen mit relativ guter Gärqualität erzielt. Hieraus kann die Schlußfolgerung abgeleitet werden, daß in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfütter ab einer T-Dichte von 200-210 kg T/m³ ein ausreichender Luftabschluß und eine gute Gärqualität erreicht werden kann. Diese Lagerungsdichte entspricht etwa dem obersten Bereich der Verdichtung in den mit normaler Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (R) und wurde in den durchgeführten Praxissilierversuchen in etwa 15 % der Rundballensilagen (R) erreicht. In den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (RS) konnte diese Lagerungsdichte bei mehr als 80 % der erzeugten Rundballensilagen (RS) erreicht bzw. überschritten werden. In den unter Praxisbedingungen erzeugten Rundballensilagen (R / RS) wurde aber eine schlechtere Gärqualität als in den unter Laborbedingungen bei 200-210 kg T/m³ hergestellten Silagen festgestellt.

Es ist nicht auszuschließen, daß die im Freien gelagerten Ballensilagen weiteren Einflußfaktoren auf den Gasaustausch wie witterungsbedingten Temperaturschwankungen und Wind ausgesetzt waren. Diese wirkten in den Laborsilos nicht in dem Maße auf die Silagen ein. Eine Temperaturerhöhung um 10 Kelvin steigert den Gasaustausch um 5-10 % [KNABE et al., 1986]. Hohe Temperaturen durch Sonneneinstrahlung können bei im Freien gelagerten Ballensilagen zu Pilzbefall und pH-Wert-Anstieg führen [RANDBY, 1996]. Bei in Gebäuden gelagerten wurde gegenüber im Freien gelagerten Ballensilagen eine bessere Gärqualität erreicht [ANDERSON, 1985; JOKI-TOKOLA, 1992; HAIGH, 1995]. Eine Lagerung von Ballensilagen in Gebäuden ist jedoch praxisunüblich. Dies würde auch den Vorteil der von festen bautechnischen Voraussetzungen relativ unabhängigen Silierung aufheben. Hinsichtlich Windeinwirkung kann angenommen werden, daß die Ballensilagen einer stärkeren Einflußnahme unterworfen waren als die in den Laborsilos simulierte Lufteinwirkung (20 mbar). Hier sollten normale Schwankungen des atmosphärischen Luftdrucks simuliert werden. In der Literatur wird davon ausgegangen, daß bezüglich der Einwirkung von Temperaturschwankungen und Wind die Silierung in Silos wie z.B. Horizontal- und Hochsilos gegenüber der Silierung in Großballen wegen der größeren Schichthöhe und des günstigeren Verhältnisses von Oberfläche zu Silagemasse von Vorteil ist [SUNDBERG und THYLÉN, 1993; UPPENKAMP, 1994].

Es ist anzunehmen, daß z.B. in Horizontalsilos ab einer Lagerungsdichte von ca. 200-210 kg T/m³ auch in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter ein ausreichender Luftabschluß und eine gute Gärqualität erreichbar ist. In der Praxis ist bei Grassilagen in Horizontalsilos eine Lagerungsdichte von 200-210 kg T/m³ in der Regel erreichbar, während bei Grassilagen in Rundballen (R) im Mittel nur eine Lagerungsdichte von 170-190 kg T/m³ erreicht werden kann [DARBY und JOFRIET, 1993; UPPENKAMP, 1994; N.N., 1996]. Bei der Welksilagebereitung mit Siloverfahren (Horizontal- und Hochsilos) wird in der Literatur als erforderliche Einlagerungsdichte etwa 500-600 kg FM/m³ angegeben, was etwa einer T-Dichte von mindestens 180-200 kg T/m³ entspricht [KNABE et al., 1986, WEISE und RAMBUSCH, 1988]. Schlußfolgernd aus den vorliegenden Untersuchungen sollte dagegen für eine gute Gärqualität bei Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter eine höhere Lagerungsdichte von etwa 200-210 kg T/m³ als mindestens notwendige Grenzbedingung zur Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses angenommen werden. Insbesondere in Ballensilagen sollte dieser Bereich der Lagerungsdichte zumindest erreicht, nach Möglichkeit aber auch überschritten werden. Voraussetzung dabei ist ein ausreichender T-Gehalt im Siliergut. In der Literatur wird vor allem bei Quaderballen ab einem T-Gehalt von 450-500 g/kg eine T-Dichte von etwa 200-210 kg T/m³ angegeben [UPPENKAMP, 1994]. In den eigenen Untersuchungen wurden Rundballenpressen eingesetzt, die nach dem Konstantkammervverfahren arbeiten. Bei Nutzung einer Rundballenpresse mit variabler Preßkammer sind vermutlich gleichmäßiger und höher verdichtete Rundballensilagen erzielbar. Durch Verdichtung des Ballenkerns bereits zu Beginn der Ballenformung kann bei diesem Preßverfahren die T-Dichte der Silagen um etwa 10 % gegenüber dem Konstantkammervverfahren erhöht werden [WYSS et al., 1991a; UPPENKAMP, 1994]. In den durchgeführten Praxissilierungsversuchen wurde jedoch durch Anwendung einer Rundballenpresse mit verbesserter Vorschneideinrichtung eine T-Dichte oberhalb 200-210 kg T/m³ in Rundballensilagen (RS) erreicht.

Im Versuchsjahr 1997 konnten im T-Bereich unterhalb 400 g/kg bzw. oberhalb 500 g/kg vergleichende Silierversuche mit normaler und verbesserter Vorschneideeinrichtung bei den Rundballenpressen durchgeführt werden. Durch die intensivere **Silierung** mittels verbesserter Vorschneideeinrichtung wurde eine etwa 10-15 % höhere Lagerungsdichte in den Rundballensilagen (RS) erzielt. In der Literatur wird bei Silierung in Rundballen ebenfalls von einer höheren Lagerungsdichte in dieser Größenordnung ausgegangen [NEITZ, 1993; UPPENKAMP, 1994]. In den Praxisversuchen konnte in den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung (RS) erzeugten Rundballen (etwa 190-230 kg T/m³) gegenüber den mit normaler Vorschneideeinrichtung (R) erzeugten Rundballen (etwa 150-210 kg T/m³) durch die höhere Lagerungsdichte tendenziell ein verbesserter Luftabschluß erreicht werden. Insbesondere im Randbereich der Silagen konnte die Gärqualität besser bewertet werden und es traten allgemein geringere Unterschiede zwischen Rand- und Kernbereich auf. Darüber hinaus wiesen die höherverdichteten Rundballensilagen (RS) gegenüber den normalverdichteten Rundballensilagen (R) einen insgesamt geringeren Pilzbefall auf und waren in der Regel fütterungstauglich. Im T-Bereich unterhalb 400 g/kg wurde jedoch auch bei Silierung eine teilweise starke Buttersäurebildung festgestellt. Insbesondere bei unzureichendem T-Gehalt des Siliergutes führt eine höhere Lagerungsdichte anscheinend nicht zwangsläufig zu einer besseren Gärqualität. Im T-Bereich oberhalb 450 bis etwa 500 g/kg, in dem offenbar ein ausreichender Anwelkgrad vorlag, konnten witterungsbedingt mit der Rundballenpresse mit verbesserter Vorschneideeinrichtung keine Versuche durchgeführt werden. Bei relativ hohem T-Gehalt oberhalb 500 g/kg war das Siliergut wiederum vergleichsweise schwer verdichtbar. Hinsichtlich der Erzeugung einer guten Gärqualität in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter durch intensivere Silierung sind daher nur eingeschränkte Aussagen möglich. Es dürfte aber anzunehmen sein, daß durch die 10-15 % höhere Lagerungsdichte, die bei der Hälfte der erzeugten Rundballensilagen (RS) oberhalb 210 kg T/m³ lag, insbesondere im T-Bereich 450 bis 500 g/kg eine bessere Gärqualität als in den geringer verdichteten Rundballensilagen (R) erzielbar ist. Für diese Annahme sprechen auch Arbeiten in der Literatur, in denen durch intensivere Silierung ein verbesserter Luftabschluß und damit verbunden auch häufig eine höhere Gärqualität in Rundballensilagen erreicht wurde [NEITZ, 1993; KELLER et al., 1997 und dort zitierte Literatur].

Der Einfluß der Silierung auf die Gärqualität ist relativ komplex: homogeneres, leichter und höher verdichtbares Siliergut / schneller erreichte anaerobe Bedingungen / besserer Luftabschluß / verringerter Gasaustausch / schnellerer Zellsaftaustritt / besser verfügbares Gärsubstrat [HONIG, 1991; NICHOLSON et al., 1991; MCDONALD et al., 1991; ASHBELL und WEINBERG, 1992]. Weiterhin wird die Milchsäurebakteriendichte im Siliergut erhöht [LIN et al., 1992]. Dies führt durch die bessere Substratverfügbarkeit für die Milchsäurebakterien bei ausreichend vorhandenen wasserlöslichen Kohlenhydraten häufig zu einem Anstieg der Milchsäurebildung [PAHLOW und MÜLLER, 1990]. In Arbeiten von WYSS und JANS traten zwischen in Hochsilos und in Rundballen silierten Grassilagen (T-Gehalt: 350-450 g/kg) nur geringe Unterschiede bezüglich der Gärqualität auf, wenn die Silierung bei beiden Verfahren mit zerkleinertem Siliergut erfolgte. Wurde das Siliergut jeweils nicht zerkleinert, war die Qualität der Ballensilagen schlechter [WYSS und JANS, 1993].

In den Praxissilivversuchen wurde bei gleicher Variante der **äußeren Luftabschlußgüte** in den Compactrollen- gegenüber den Rundballensilagen allgemein eine bessere Gärqualität erreicht. Nach MÜLLER ist die äußere Luftabschlußgüte ein wichtiger Einflußfaktor zur Gewährleistung eines ausreichenden Luftabschlusses, sie trägt gegenüber der Verringerung des Porenvolumens durch Verdichten aber nur sekundären Charakter [MÜLLER, 1969]. Die größere Bedeutung der Lagerungsdichte gegenüber der Folienlagenzahl wurde auch dadurch deutlich, daß die Gärqualität vor allem im Kernbereich der Rundballensilagen (R) durch eine Erhöhung der Folienlagenzahl auf 6 und 8 bei einigen Versuchen bzw. Ausgangsmaterialien nicht wesentlich beeinflußt bzw. verbessert werden konnte. Dagegen war bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C) in allen Versuchen bei einer höheren Folienlagenzahl in der Regel eine Verbesserung der Gärqualität erkennbar. Offensichtlich kann bezüglich der Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses in Silagen eine zu geringe Lagerungsdichte nicht effektiv durch höhere Folienlagenzahl kompensiert werden. In den Praxissilivversuchen wurde bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C) gegenüber der geringeren Lagerungsdichte in den Rundballensilagen (R / RS) eine vergleichbare Gärqualität meist mit einer geringeren Folienlagenzahl erzielt. Anscheinend kann mit steigender Lagerungsdichte ein ausreichender Luftabschluß mit einer geringeren Folienlagenzahl erreicht werden. Dies würde Einsparungen an Folienmaterial erlauben. In der Literatur wird jedoch darauf hingewiesen, daß höheres Verdichten nicht gleichermaßen die Anforderungen an den äußeren Hermetisierungsgrad herabsetzt [KNABE et al., 1986]. Bei der Gasdurchlässigkeit der Isolierhülle bzw. des Zudeckmaterials von Silos sind Mindestwerte einzuhalten [RETTIG, 1972].

In den eigenen Untersuchungen erwiesen sich 6 Folienlagen der verwendeten Stretchfolie bzw. eine Gasdurchlässigkeit des Zudeckmaterials von maximal etwa $1,7 \text{ l/m}^2$ in 24 Stunden als mindestens erforderliche Grenzbedingung der äußeren Luftabschlußgüte zur Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter. Bei ausreichendem T-Gehalt des Siliergutes oberhalb 450 g/kg wurde in den Compactrollensilagen (C) ab 6 Folienlagen überwiegend eine gute bis sehr gute Gärqualität mit nahezu buttersäurefreien Silagen erzielt. Hierbei war auch der Pilzbefall eingeschränkt. In den höherverdichteten Rundballensilagen (RS) war die ab 6 Folienlagen erreichte Gärqualität aufgrund geringerer Lagerungsdichte im Vergleich dazu etwas schlechter (geringere Milchsäuregehalte, höhere pH-Werte). Der Pilzbefall war jedoch ebenfalls eingeschränkt und die Silagen waren fütterungstauglich. In den normalverdichteten Rundballensilagen (R) dagegen konnte infolge zu geringer Lagerungsdichte ein Pilzbefall insbesondere im Kernbereich der Silagen auch bei 6 und 8 Folienlagen nicht immer verhindert werden. Schlußfolgernd aus den vorliegenden Ergebnissen wird aber davon ausgegangen, daß die Gewährleistung der Grenzbedingung der Lagerungsdichte die Voraussetzung für die Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses in Silagen darstellt. Die Ermittlung einer Grenzbedingung der äußeren Luftabschlußgüte bei zu geringer Lagerungsdichte der Silagen erscheint wenig sinnvoll. In der Literatur wird bei der Silagebereitung mit Siloverfahren (Horizontal- und Hochsilos) als maximale Gasdurchlässigkeit des Zudeckmaterials ein Wert unterhalb 24 l/m^2 in 24 h empfohlen, wobei eine Gasdurchlässigkeit von $2,4 \text{ l/m}^2$ in 24 h als Optimalwert angesehen wird [RETTIG, 1972; KNABE et al., 1986;

RETTIG und KLICH, 1986]. Nach den eigenen radiometrischen Messungen würde der genannte Optimalwert bei der verwendeten Stretchfolie einer äußeren Luftabschlußgüte von mindestens etwa 4 bis 5 Folienlagen entsprechen. Es ist nicht auszuschließen, daß bei Ballensilagen die Mindestanforderungen an den Hermetisierungsgrad höher sind als bei Siloverfahren. Dies dürfte nach Angaben in der Literatur vor allem auf den bei Ballensilagen allgemein stärkeren Einfluß der Witterung, das ungünstigere Verhältnis von Oberfläche zu Silagemasse und eine häufig unzulängliche Wickelgenauigkeit zurückzuführen sein [SUNDBERG und THYLÉN, 1993; UPPENKAMP, 1994].

In der Literatur wird bei Ballensilagen aus konventionell erzeugtem Grünfutter als Grenzbedingung bzw. Mindestwert für die Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses und einer guten Gärqualität ebenfalls häufig eine äußere Luftabschlußgüte von 6 Folienlagen genannt [JOKI-TOKOLA, 1992; ITOKAWA et al., 1995; KELLER, 1995; FYCHAN und JONES, 1996; KELLER et al., 1997]. Angaben zur Gasdurchlässigkeit der verwendeten Folienmaterialien fehlen aber meist. Es ist jedoch davon auszugehen, daß Stretchfolien, die „DLG anerkannt“ sind, sich in ihrer Gasdurchlässigkeit nicht wesentlich unterscheiden und insbesondere vorgeschriebene Höchstwerte einhalten. Schlußfolgernd ist daher anzunehmen, daß bezüglich der Grenzbedingung der äußeren Luftabschlußgüte für die Erzeugung einer guten Gärqualität kein wesentlicher Unterschied zwischen Silagen aus extensiv und konventionell erzeugtem Grünfutter besteht. In der Literatur bewirkten mehr als 6 Folienlagen nur noch eine geringfügige Verbesserung der Gärqualität [NEITZ, 1993; KELLER et al., 1997]. In den eigenen Untersuchungen war vor allem bei den radiometrischen Messungen ein entsprechender Trend bei der verwendeten Stretchfolie erkennbar. Der Nutzeffekt zur Verringerung der Gasdurchlässigkeit betrug bei einer Erhöhung von 6 auf 8 Folienlagen nur etwa 30 % des Nutzeffektes der Erhöhung von 4 auf 6 Folienlagen. Eine höhere Folienlagenzahl verbessert aber den mechanischen Schutz der Hülle. Schlußfolgernd aus der bei 8 Folienlagen noch festgestellten Gasdurchlässigkeit von etwa 1,4 l/m² in 24 Stunden ist bei Ballensilagen eine windgeschützte und schattige Lagerung ratsam. Aspekte wie Folienfarbe und UV-Stabilität wurden in den Untersuchungen nicht geprüft. In den wenigen dazu bekannten Arbeiten in der Literatur wird angenommen, daß dunkles Folienmaterial eine höhere Temperatur der Silage bewirken kann [ZILAKOVA et al., 1993].

Durch biologische und chemische **Silierzusätze** konnte die Gärqualität von Grassilagen, auch die von Ballensilagen, nach Angaben in der Literatur mehrfach verbessert werden [JONSSON et al., 1990; CIOTTI et al., 1993; NEITZ, 1993; KELLER, 1995; HAIGH et al., 1996]. In den vorliegenden Untersuchungen wurden nur im Versuchsjahr 1995 (L 1) mit Faßsilos ausgewählte Silierzusätze geprüft. Das Siliergut war jedoch unzureichend vergärbare. Der in der Variante mit Milchsäurebakterien vorliegende T-Gehalt unterhalb 200 g/kg befand sich für biologische Zusätze nicht im optimalen Bereich [KELLER et al., 1994]. In den luftbeeinflussten Randschichten konnte auch bei Zusatz von Propionsäure keine wesentliche Verbesserung der Gärqualität gegenüber der Variante ohne Zusatz festgestellt werden. Die Randschichten wiesen starken Pilzbefall und dadurch bedingt relativ hohe pH-Werte auf. Das Welken des Siliergutes auf etwa 300 g/kg bewirkte hier anscheinend eine stärkere Rückdehnung und noch größeren Lufteinfluß. In den offenbar weniger luftbeeinflussten Kernschichten dagegen wurde durch den Zusatz der Siliermittel (vor allem Propionsäure) bei

beiden T-Gehalten ein positiver Effekt auf die Gärqualität ausgeübt. Dieses Ergebnis war prinzipiell zu erwarten. Fehler bei der Silagebereitung wie Luftzutritt und zu geringe Lagerungsdichte können durch Silierzusätze nicht ausgeglichen werden [KELLER et al., 1997]. Die Wirksamkeit biologischer Siliermittel setzt immer anaerobe Bedingungen voraus [HONIG und PAHLOW, 1986; PAHLOW und HONIG, 1986]. Durch luftdichte Lagerung (Deckelverschluß) konnte die Gärqualität der Silagen auch ohne Silierzusätze verbessert werden. Hier wurde nur ein relativ geringer ($> 3\text{-}6\text{ g/kg T}$) Buttersäuregehalt festgestellt und es traten insbesondere keine Verderbschichten (Randschichten) auf. Von fest installierten Siloanlagen wie Horizontal- und Hochsilos ist bekannt, daß bei einer aufgrund unzureichender Vergärbarkeit eingeschränkten Fermentation ein verbesserter Luftabschluß zu einer guten Gärqualität beitragen kann [WOOLFORD, 1984; MCDONALD et al., 1991].

5.2 Pilzwachstum

Im Vordergrund stand die Ermittlung der Grenzbedingungen für Verdichtung und äußeren Luftabschluß, bei denen unabhängig vom Siliergut (T-Gehalt, Rohfasergehalt, Aufwuchs) während mindestens 4 - 6 Monaten Lager ein Pilzbefall in den Silagen eingeschränkt werden kann. Von Interesse war, inwieweit die Grenzbedingungen hierfür mit denen für die Gärqualität übereinstimmen.

Die Zusammensetzung der Schimmelpilzflora in Silagen ist sehr vielschichtig. In den eigenen Untersuchungen wurden in Stichproben Bestimmungen von Schimmelpilzgattungen und -arten durchgeführt. Die am häufigsten angetroffenen Gattungen waren *Monascus*, *Penicillium* und *Mucoraceae*. Angaben in der Literatur wurden damit im wesentlichen bestätigt [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996]. In Grassilagen spielen vor allem Vertreter der Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus* und *Monascus* sowie *Mucoraceae* eine übergeordnete Rolle [GEDEK et al., 1981]. Vor allem im Randbereich der Ballensilagen wurden jedoch auch Vertreter der Gattung *Fusarium* festgestellt.

Die sensorische **Beurteilung des Pilzbefalls** nach äußeren Merkmalen wie sichtbarer Schimmel und muffiger Geruch ist nicht ausreichend sicher. In den durchgeführten Untersuchungen wiesen auch visuell unverschimmelte Silageproben teilweise eine Pilzkeimzahl oberhalb des Schwellenwertes von 10000 KBE/g FM auf. Von AUERBACH wurde in dem Zusammenhang in 18 von 30 visuell unverschimmelten Grassilagen eine Pilzkeimzahl oberhalb 10000 KBE/g FM festgestellt [AUERBACH, 1996]. In den vorliegenden Untersuchungen wurde erwartungsgemäß in den visuell verschimmelten meist eine höhere Pilzkeimzahl als in den visuell unverschimmelten Silagen festgestellt. Teilweise war jedoch auch eine Verschimmelung visuell sichtbar und äußerte sich nicht in der Pilzkeimzahl. In der Literatur wird auf allgemeine Schwierigkeiten bei der Entnahme repräsentativer Proben aus Silagen und vor allem bei deren Homogenisierung verwiesen [KELLER, 1995; AUERBACH, 1996]. Der ermittelte Wert der Pilzkeimzahl wird darüber hinaus von der angewendeten Analysenmethode und hier z.B. durch das verwendete Nährmedium beeinflusst [SCHNÜRER und JONSSON, 1992]. Die Pilzkeimzahl gibt nur über entwicklungsfähige Pilzkeime Auskunft, der ermittelte Wert stellt jedoch innerhalb der empfohlenen Richtwerte eine wichtige Beurteilungsgröße für den Verderb dar [MÜLLER et al., 1984; MÜLLER und LEHN, 1988]. Über die Höhe eines Richt-

wertes in Futtermitteln, bei dem eine gesundheitliche Schädigung von Tieren eintreten kann, bestehen aber keine einheitlichen Meinungen. Insgesamt zeigen Beobachtungen aus der Praxis, daß die Grenzen des Pilzbefalls im Futter für eine schädigende Wirkung beim Tier fließend sind. Eine Vielzahl von Einflußfaktoren wie aufgenommene Futtermenge und Fütterungsdauer sowie Rasse, Alter und Konstitution machen die genaue Festlegung eines Richtwertes schwierig. Allgemein ist jedoch anzunehmen, daß mit zunehmendem Pilzbefall das gesundheitliche Risiko steigt, vor allem wird die Mykotoxinbildung im Futter wahrscheinlicher [SCHMIDT, 1981]. In den eigenen Untersuchungen wurde für den einwandfreien hygienischen Status der Silagen ein Schwellenwert der Pilzkeimzahl von 10000 KBE/g FM festgelegt. Ab diesem Keimgehalt an Schimmelpilzen können nach Angaben in der Literatur gesundheitliche Beeinträchtigungen bei Tieren auftreten [GEDEK, 1973]. Von der DLG wird in Futtermitteln ein Besatz an Hefe- und Schimmelpilzen erst ab einer Keimzahl von etwa 70000 KBE/g FM als kritisch angesehen [SCHNEIDER, 1994 und dort zitierte Literatur].

Ab einem Keimgehalt an Schimmelpilzen von mehr als 100000 KBE/g FM ist nach Angaben in der Literatur jedoch mit gesundheitlichen Schäden bei Tieren zu rechnen [GEDEK, 1974]. In den vorliegenden Untersuchungen wurden analytisch bedingt bei der Pilzkeimzahlbestimmung Schimmel- + Hefepilze erfaßt. Hefen besitzen in Silagen kaum eine toxikologische Bedeutung [GEDEK, 1973]. Das Risiko der überwiegend von Hefen induzierten aeroben Instabilität von Silagen steigt jedoch, wenn bei der Auslagerung der Keimgehalt an Hefen den Wert von 100000 KBE/g FM überschreitet [PAHLOW, 1982; JONSSON und PAHLOW, 1983; JONSSON und PAHLOW, 1984]. Schlußfolgernd könnte in den eigenen Untersuchungen ein Gesamt-Keimgehalt an Schimmel- + Hefepilzen von 100000 KBE/g FM als Höchstwert für den Pilzbefall der Silagen angenommen werden.

In der Literatur wird zur genaueren Beurteilung des Pilzbefalls zusätzlich zur Pilzkeimzahl- die Ergosterinbestimmung empfohlen [MÜLLER und SCHWADORF, 1988; SCHWADORF, 1995; SARAF et al., 1997]. Der Anteil des von Hefen gebildeten Ergosterins am Gesamt-Ergosterengehalt ist relativ gering [SCHWADORF, 1995; AUERBACH, 1996]. In den durchgeführten Untersuchungen war der ermittelte Ergosterengehalt der Silagen daher eine sinnvolle Ergänzung der jeweils festgestellten Pilzkeimzahl. Vor allem konnten durch die Ergosterinbestimmung auch die Silagen differenziert beurteilt werden, bei denen die Pilzkeimzahl bei der Auslagerung unterhalb der Nachweisgrenze lag. Die Einschätzung der während der Silagelagerung stattgefundenen Ergosterinbildung und deren vergleichende Wertung zwischen den einzelnen Versuchen war jedoch schwierig, wenn bereits im Siliergut ein relativ hoher Ergosterengehalt vorlag. Die Beziehung zwischen den jeweils ermittelten Werten der Parameter Pilzkeimzahl und Ergosterengehalt war bei den in den Praxissilierungsversuchen analysierten Silagen ($n = 330$) insgesamt nur relativ gering ($r^2 = 0,33$). Naheliegend als Erklärung hierfür ist, daß der Ergosterengehalt versuchstechnisch bedingt nicht unmittelbar aus derselben Probeneinwaage für die Pilzkeimzahlbestimmung ermittelt werden konnte. Von AUERBACH wurden bezüglich der Beziehung zwischen Pilzkeimzahl und Ergosterengehalt mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,38$ im Mittel aller analysierten Silagen ($n = 62$) jedoch ähnliche Ergebnisse gewonnen [AUERBACH, 1996]. In Untersuchungen mit Getreide wurde demgegenüber mit $r^2 = 0,77$ eine engere Korrelation zwischen Pilzkeimzahl und Ergosterengehalt festgestellt [SCHNÜRER und

JONSSON, 1992]. Schlußfolgernd aus den vorliegenden Ergebnissen dürfte es sehr schwierig sein, bezüglich des Ergosteringehaltes von Grassilagen einen allgemeingültigen Höchstwert festzulegen. Diese Meinung wird auch in der Literatur vertreten [AUERBACH, 1996]. Es ist davon auszugehen, daß zur Beurteilung des Pilzbefalls von Grassilagen die Ergosterin- die Pilzkeimzahlbestimmung nicht ersetzen kann. Die Analyse des Ergosteringehaltes zusätzlich zur Pilzkeimzahl erlaubt jedoch eine umfassendere Einschätzung des Schimmelbefalls während der Lagerung.

In den eigenen Untersuchungen war der **Pilzbesatz im Siliergut** gemessen an Pilzkeimzahl und Ergosteringehalt bei den 3. Aufwüchsen allgemein höher als bei den 2. und 1. Aufwüchsen. Der Rohaschegehalt im Siliergut war ebenso bei den 3. Aufwüchsen generell höher, was auf einen stärkeren Erdeintrag als bei den 2. und 1. Aufwüchsen hindeutet [ZIMMER, 1990]. Es ist daher anzunehmen, daß die mikrobielle Schadbelastung im Siliergut durch Pilz- und andere Schadkeime (Clostridien, Listerien, Enterobakterien) bei späten Aufwüchsen in der Regel höher ist als bei frühen Aufwüchsen. Nach Angaben in der Literatur ist mit zunehmendem Pflanzenalter und der Zunahme abgestorbenen Pflanzenmaterials mit einer stärkeren Verpilzung der Bestände zu rechnen [FEHRMANN und MÜLLER, 1990; MÜLLER et al., 1991], vor allem auf extensiv genutztem Grünland [OPITZ V. BOBERFELD, 1995; LANDES, 1996]. In den Praxissilievierversuchen wurde in den Rundballensilagen (R) von Versuch P 3 (3. Aufwuchs 1996) unabhängig von der Folienlagenzahl ein deutlich stärkerer Pilzbefall als in den Rundballensilagen (R) von Versuch P 4 (1. Aufwuchs 1997) festgestellt. Hinsichtlich T-Gehalt und Verdichtbarkeit (Rohfasergehalt) war das Ausgangsmaterial der beiden Versuche annähernd vergleichbar. Es ist naheliegend anzunehmen, daß dieser Unterschied mit der allgemein höheren Schadbelastung des beim 3. Aufwuchs 1996 gegenüber dem beim 1. Aufwuchs 1997 vorliegenden Siliergutes zusammenhängt. Bei hoher Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C) wurden derartige Unterschiede jedoch nicht bemerkt. Nach 6 Monaten Lagerung lag hier die Pilzkeimzahl ab 4 Folienlagen bei beiden Versuchen bzw. Aufwüchsen unterhalb des Schwellenwertes bzw. der Nachweisgrenze. Anscheinend fanden Schimmelpilze und andere mikrobielle Schaderreger bei der vergleichsweise geringen Lagerungsdichte in den Rundballensilagen (R) allgemein günstigere Entwicklungsbedingungen vor als bei der relativ hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C). Dies kam beim 3. Aufwuchs 1996 (P 3) auch zum Ausdruck durch den direkten Nachweis von Listerien insbesondere in den Rundballensilagen (R). Deren Auftreten in Silagen wird in der Literatur vor allem mit höheren pH-Werten und Lufteinfluß in Verbindung gebracht [FENLON, 1985; FENLON et al., 1989; RUXTON und GIBSON, 1995; ARIMI et al., 1997; RYSER et al., 1997; HOFFMANN et al., 1998]. Schlußfolgernd ist bei ausreichendem Luftabschluß die mikrobielle Schadbelastung des Siliergutes offensichtlich nicht von vorrangiger Bedeutung für den Entwicklungsverlauf mikrobieller Schaderreger während der Silagelagerung.

Bei in den vorliegenden Untersuchungen im Siliergut bestimmten Pilzen handelte es sich vor allem um Hefen und Fusarien und selten um Vertreter der Gattung *Penicillium*. Nach Angaben in der Literatur ist das Vorkommen von Lagerpilzen wie *Penicillium roqueforti* prinzipiell bereits auf wachsenden Pflanzen möglich [OLDENBURG, 1990; AUERBACH, 1996 und dort zitierte Literatur]. In zwei Laborsilievierversuchen wurde eine Beimpfung des Siliergutes mit *Penicillium roqueforti* - Sporen

vorgenommen. Hierdurch sollte eine verstärkte Belastung des Siliergutes mit *Penicillium roqueforti* simuliert und beispielhaft anhand dieser als dominierend beim Schimmelverderb von Silagen geltenden Pilzart [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996] der Einfluß des Luftabschlusses auf Pilzwachstum und Mykotoxinbildung untersucht werden. Nach einem Monat Lagerung wurde auch bei hoher Folienlagenzahl in den Silagen von beimpftem Siliergut gegenüber den jeweiligen Silagen von unbeimpftem Siliergut ein intensiver Anstieg der Pilzkeimzahl festgestellt. Es ist nicht auszuschließen, daß in den Silagen bzw. in den Laborsilos während der Silagelagerung kein ausreichender Luftabschluß zur Einschränkung des Pilzbefalls und vor allem von *Penicillium roqueforti* erreicht wurde. Die in den Laborsilos technisch erreichbare T-Dichte (maximal 200-210 kg T/m³) war bei der simulierten verstärkten Lufteinwirkung offenbar nicht hoch genug. Ein wichtiger Grund für die Aufmerksamkeit, die *Penicillium roqueforti* in der Literatur gewidmet wird, ist seine relativ hohe Toleranz gegenüber hohen Kohlendioxidkonzentrationen und niedrigen pH-Werten sowie organischen Säuren wie Essigsäure [MOREAU, 1980]. Im Vergleich zu anderen Pilzen kann *Penicillium roqueforti* auch bei relativ niedrigem Sauerstoffangebot noch wachsen und gilt als widerstandsfähig gegenüber längerfristigen anaeroben Bedingungen [YATES et al., 1967; LACEY und MAGAN, 1991]. In Arbeiten von AUERBACH konnte sich *Penicillium roqueforti* auch bei einer Sauerstoffkonzentration von weniger als 1 % entwickeln [AUERBACH, 1996]. In der Literatur wird allgemein davon ausgegangen, daß das Pilzwachstum mehr durch eine hohe Kohlendioxid- als durch eine niedrige Sauerstoffkonzentration eingeschränkt werden kann [LANDERS et al., 1967; LACEY, 1989; OMINSKI et al., 1994]. Die Schichthöhe der Laborsilos war mit 0,4 m sehr gering und sollte vor allem den Randbereich der Ballensilagen simulieren. Die Gesamt-Schichthöhe der hergestellten Ballensilagen betrug demgegenüber 1,0-1,2 m. Die Schichthöhe von Horizontalsilos erreicht im Mittel etwa 3-4 m [UPPENKAMP, 1994]. Es ist daher nicht auszuschließen, daß bei Vorliegen einer größeren Schichthöhe vergleichsweise mehr Kohlendioxid in den Silagen zurückgehalten wird und dadurch auch bei einer T-Dichte, die der in den Laborsilos technisch erreichbaren Lagerungsdichte entspricht, ein Pilzbefall und die Entwicklung so widerstandsfähiger Pilze wie *Penicillium roqueforti* eingeschränkt werden kann. Für diese Annahme spricht, daß in den Praxissilivversuchen ab einer Lagerungsdichte von etwa 200-210 kg T/m³ ein Pilzbefall in den Silagen (RS) eingeschränkt wurde.

In den Praxissilivversuchen wurde ein Schimmelbefall in den Ballensilagen insbesondere durch einen ausreichenden Luftabschluß eingeschränkt, der in erster Linie durch die Erzeugung einer höheren **Lagerungsdichte** erreicht wurde. Bei einigen Versuchen bzw. Ausgangsmaterialien wurde in den mit normaler Vorschneideeinrichtung (R) hergestellten Rundballen (etwa 150 - 210 kg T/m³) auch bei 6 und 8 Folienlagen im Rand- und Kernbereich der Silagen ein visuell starker Schimmelbefall und eine Pilzkeimzahl oberhalb des angenommenen Höchstwertes von 100000 KBE/g FM festgestellt. In Untersuchungen von PROCHNOW wurden bei Silivversuchen mit Mähgut aus der Landschaftspflege ebenfalls bei mit normaler Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (R), die mit bis zu 6 Folienlagen umwickelt waren, nach 6-8 Monaten Lagerung bis in den Kernbereich verschimmelte Silagen beobachtet. Unter Laborbedingungen erzielte PROCHNOW dagegen mit demselben von Juli bis September geernteten Siliergut schimmelfreie Silagen guter bis sehr guter Gär-

qualität [PROCHNOW, 1994]. In den eigenen Untersuchungen wurde in den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (RS) durch intensivere Siliergutzerkleinerung eine durchschnittlich höhere Lagerungsdichte (etwa 190 - 230 kg T/m³) erzeugt und ab 6 Folienlagen allgemein eine Einschränkung des Pilzbefalls erreicht. Die Pilzkeimzahl im Rand- und Kernbereich der Rundballensilagen (RS) lag dabei in der Regel unter dem angenommenen Höchstwert von 100000 KBE/g FM. Demnach lag in den mit normaler Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (R) anscheinend eine im Mittel zu geringe Lagerungsdichte vor. In den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballen (RS) wurde durch die ca. 10-15 % höhere Verdichtung, die bei der Hälfte der erzeugten Rundballen (RS) oberhalb 210 kg T/m³ lag, offensichtlich ein besserer Luftabschluß erzielt. Bezüglich der Einschränkung von Pilzbefall ist der hierbei erreichte Luftabschluß als ausreichend einschätzbar. Es kann angenommen werden, daß in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter ab einer Lagerungsdichte von etwa 200-210 kg T/m³ ein ausreichender Luftabschluß zur Einschränkung von Pilzbefall erreichbar ist. Dieser Wert wurde bereits hinsichtlich der Gärqualität als mindestens erforderliche Grenzbedingung der T-Dichte angenommen. Die durch intensivere Siliergutzerkleinerung bei den Rundballensilagen (RS) erzielte höhere Verdichtung konnte nicht bei jedem Versuch bzw. Ausgangsmaterial untersucht werden. Für die Annahme, daß durch die Erhöhung der Lagerungsdichte der Luftabschluß verbessert und damit der Pilzbefall eingeschränkt werden kann, spricht jedoch, daß bei der hohen Lagerungsdichte (> 270 kg T/m³) in den Compactrolsilagen (C) bei allen Versuchen bzw. Ausgangsmaterialien ab 6 Folienlagen das Pilzwachstum eingeschränkt werden konnte. Bei jeder Auslagerung lag die Pilzkeimzahl im Randbereich dieser Silagen (C) unter dem angenommenen Höchstwert (100000 KBE/g FM) und im Kernbereich unter dem Schwellenwert (10000 KBE/g FM). In der Literatur wurden mit einer Zerkleinerung des Siliergutes bei Ballensilagen ebenfalls positive Erfahrungen hinsichtlich der Einschränkung von Pilzbefall gemacht [KELLER et al., 1997]. Der nach Siliergutzerkleinerung verringerte Schimmelbefall in Rundballensilagen wurde vor allem auf die in den Silagen auch beobachtete Steigerung der Essigsäurebildung zurückgeführt [KELLER, 1995]. In den eigenen Untersuchungen war der Essigsäuregehalt in den Ballensilagen sehr niedrig. Offenbar bewirkt in erster Linie der durch Siliergutzerkleinerung und höhere Lagerungsdichte verbesserte Luftabschluß eine Einschränkung des Pilzbefalls.

Die komplexe Beeinflussung der **äußeren Luftabschlußgüte** durch die in der Praxis vorliegenden Bedingungen ist im Labor kaum zu simulieren. Mit fortschreitendem Vegetationsstadium steigt der Rohfasergehalt an. Das Grünfutter wird sperriger, schlechter verdichtbar und der Gasporenanteil erhöht sich [MÜLLER, 1969]. Das sperrige Siliergut setzt darüber hinaus die Gefahr von Folienverletzungen herauf. Die in den Praxissilierungsversuchen bei den Silageballen angewandte Netzbindung ist in diesem Zusammenhang vorteilhafter als die in der Ballensilierung ebenfalls übliche Garnbindung. Die Stengel liegen bei Netzbindung besser am Ballenkörper an [KELLER, 1995]. Nach Angaben in der Literatur perforieren bei Ballensilagen die ersten zwei Folienlagen häufig durch das Grünfutter selbst und erst die weiteren Folienlagen sichern den äußeren Luftabschluß [KELLER et al., 1997]. In den Praxissilierungsversuchen wurden die möglichen Auswirkungen von Folienverletzungen daher vor allem bei der Umwicklung der Silageballen mit nur 2 Folienlagen deutlich. Die Bal-

lensilagen waren hierbei vor allem im Randbereich teilweise so stark verschimmelt, daß sie fütterungsuntauglich waren. Diese in der Praxis unübliche Variante der Folienlagenzahl wurde angelegt, um zu prüfen, inwieweit sich Folienbeschädigungen in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte auf den Pilzbefall (und die Gärqualität) im Kernbereich auswirken können. Die vergleichsweise geringe Lagerungsdichte der mit normaler Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballensilagen (R) äußerte sich darin, daß hier bei 2 Folienlagen neben dem Rand- auch der Kernbereich einen visuell deutlichen Pilzbefall aufwies. Bei den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballensilagen (RS) wurde demgegenüber bei 2 Folienlagen tendenziell ein geringerer Pilzbefall im Kernbereich festgestellt, der teilweise nur anhand der Pilzkeimzahl nachgewiesen werden konnte. Durch die intensivere Siliergutzerkleinerung und damit verbunden höhere und gleichmäßigere Lagerungsdichte dieser Rundballensilagen (RS) wurde anscheinend ein geringerer Gasaustausch erzielt. Zusätzlich dürfte anzunehmen sein, daß infolge der intensiveren Zerkleinerung von Halmgutstengeln die Stretchfolie weniger perforiert wurde. Bei der hohen Lagerungsdichte in den Compactrollensilagen (C) wurde der bei 2 Folienlagen durchschnittlich geringste Pilzbefall im Kernbereich festgestellt. Der Gasaustausch war in diesen Silagen offenbar im wesentlichen auf den Randbereich beschränkt und der Kernbereich wurde nur wenig davon erfaßt. Schlußfolgernd kann angenommen werden, daß unerwartete Beschädigungen der äußeren Folienhülle bei hoher Lagerungsdichte und relativ geringem Porenvolumen einen geringeren Einfluß auf Gasaustausch, Gärqualität und aeroben Verderb ausüben als bei vergleichsweise geringer Lagerungsdichte. Hiervon wird in der Literatur ebenfalls ausgegangen [WYSS et al., 1991a; SUNDBERG und THYLÉN, 1993].

In den durchgeführten Untersuchungen konnte bei 6 und 8 Folienlagen in Rundballensilagen (R), die mit normaler Vorschneideeinrichtung erzeugt wurden, vor allem im Kernbereich ein Pilzbefall nicht immer verhindert werden. Die Ursachen hierfür werden nicht in einer bei 6 und 8 Folienlagen unzureichenden äußeren Luftabschlußgüte sondern in einer zu geringen Lagerungsdichte dieser Ballensilagen (R) gesehen. Für diese Annahme spricht, daß bereits bei ca. 10-15 % höherer Lagerungsdichte in den mit verbesserter Vorschneideeinrichtung erzeugten Rundballensilagen (RS) ab 6 Folienlagen im Rand- und Kernbereich überwiegend eine Pilzkeimzahl unterhalb des angenommenen Höchstwertes von 100000 KBE/g FM erreicht wurde. Hinsichtlich der Einschränkung von Pilzbefall in Silagen wird daher davon ausgegangen, daß die Gewährleistung der Grenzbedingung der Lagerungsdichte die Voraussetzung für die Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses darstellt. Schlußfolgernd ist anzunehmen, daß bei einer äußeren Luftabschlußgüte von 6 Folienlagen, die bereits hinsichtlich der Gärqualität als mindestens notwendige Grenzbedingung angenommen wurde, ein Pilzbefall in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter eingeschränkt werden kann. Bezüglich der Einschränkung von Pilzbefall in Silagen wird ebenso davon ausgegangen, daß zwischen Silagen aus extensiv und konventionell erzeugtem Grünfutter kein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Anforderungen an die mindestens notwendige äußere Luftabschlußgüte besteht.

In den Praxissilierungsversuchen verbesserte sich mit zunehmendem Luftabschluß (T-Dichte \uparrow , Folienlagenzahl \uparrow) die **aerobe Stabilität** der buttersäurefreien Ballensilagen. Die Dauer der aeroben Stabilität der buttersäurefreien Ballensilagen war tendenziell um so länger, je geringer die bei der Aus-

lagerung in den Silagen festgestellte Pilzkeimzahl war. Bei den buttersäurefreien Silagen, in denen bei der Auslagerung eine Pilzkeimzahl von 100000 KBE/g FM überschritten wurde, betrug die Dauer der aeroben Stabilität bis auf eine Ausnahme (< 4 Tage) weniger als 2 Tage. Bei Ballensilagen besitzt die Dauer der aeroben Stabilität nach Lufteinfluß wegen des ungünstigen Verhältnisses von Oberfläche zu Silagemasse eine andere Dimension als bei Horizontalsilos. Folienbeschädigungen bei Lagerung und Transport stellen ein hohes Risiko dar. Sie führen zu erhöhtem Gasaustausch und begünstigen die Vermehrung fakultativ anaerober und aerober Mikroorganismen, die den aeroben Verderb einleiten [JONSSON et al., 1990; MUCK et al., 1992]. Buttersäurehaltige Silagen gelten als aerob stabil [MCDONALD et al., 1991]. Der Essigsäuregehalt buttersäurefreier Silagen wird allgemein als Kriterium für deren aerobe Stabilität angesehen [MOON, 1983; WOLTHUSEN et al., 1989; COURTIN und SPOELSTRA, 1990]. Silagen mit niedrigem Essigsäuregehalt erfahren deswegen nach dem DLG-Schlüssel eine Abwertung [WEISSBACH, 1998]. In der Literatur wird vor allem bei Silagen mit hohen T-Gehalten und geringen Essigsäuregehalten nach einem Lufteinfluß mit dem Wachstum von Hefe- und Schimmelpilzen gerechnet [JONSSON, 1989]. In den eigenen Untersuchungen waren die Essigsäuregehalte der Ballensilagen allgemein sehr niedrig. Die Dauer der aeroben Stabilität der buttersäurefreien Silagen aus Versuch P 5, die im Mittel T-Gehalte von 500-550 g/kg aufwiesen, war aber bei hoher Lagerungsdichte und ausreichender äußerer Luftabschlußgüte relativ einheitlich und betrug in der Regel nach der Auslagerung mindestens 2-4 Tage. Schlußfolgernd ist anzunehmen, daß der Luftabschluß während der Lagerung ein wesentlicher Einflußfaktor auf die Dauer der aeroben Stabilität der Silagen ist und auch in Silagen mit niedrigen Essigsäuregehalten bei hohem Luftabschluß eine gute aerobe Stabilität erreicht werden kann. Es ist nicht auszuschließen, daß bei buttersäurefreien Silagen neben dem Essigsäuregehalt auch die Pilzkeimzahl bei der Auslagerung ein Kriterium für die Dauer der aeroben Stabilität darstellen kann.

In diesen Untersuchungen wurde zur Beurteilung der aeroben Stabilität vor allem der Temperaturanstieg in den Silagen gemessen. Diese Methode war im Vergleich zur Messung des Sauerstoffverbrauchs kostengünstiger und einfacher in der Handhabung. Die Ergebnisse beider Methoden stimmten bei etwa 66 % der hierbei untersuchten 107 Silageproben in ihrer Aussage überein. Insgesamt betrug bei über 80 % der mit beiden Methoden untersuchten Silagen die Abweichung maximal einen Tag. In Anbetracht der relativ geringen Investitionskosten für einen Meßplatz und angesichts der Robustheit und universellen Anwendbarkeit der Temperatursonden ist die Methode zur Messung des Temperaturanstiegs als für Routineuntersuchungen gut geeignet einschätzbar.

Von den **Gärsäuren mit antimykotischem Wirkungsspektrum** spielt Essigsäure eine zentrale Rolle bei der Einschränkung von Pilzbefall und der aeroben Stabilität von Silagen [MOON, 1983; WOLTHUSEN et al., 1989]. Propionsäure ist meist nur in Spuren vorhanden und Buttersäure wegen der Verschlechterung von Futterqualität und -aufnahme generell unerwünscht. Ein Mindestgehalt an Essigsäure wird bei der Silierung allgemein angestrebt. Dies ist siliertechnisch aber schwer zu steuern und hängt von der Zusammensetzung der epiphytischen Flora an Milchsäurebakterien im Siliergut und der Verfügbarkeit fermentierbarer Kohlenstoff-Quellen ab [WOOLFORD, 1984]. Die Fermentationsbedingungen, vor allem Lufteinfluß während der Silierung, beeinflussen eben-

falls die Essigsäurebildung. Bei Lufteinfluß kann in Silagen mehr Essigsäure gebildet werden als unter anaeroben Bedingungen [MCDONALD et al., 1991]. In der Literatur in diesem Zusammenhang beschriebene Unterschiede [AUERBACH, 1996] deuteten sich in den Silierversuchen mit Laborsilos vor allem zwischen den Varianten mit normaler und verstärkter Lufteinwirkung an. Die tendenziell höheren Essigsäuregehalte in den Silagen mit verstärkter Lufteinwirkung waren jedoch teilweise mit höheren pH-Werten verbunden. Der pH-Wert-abhängige Anteil an undissoziierter Essigsäure, der die größte antimykotische Wirkung ausübt, wurde dabei wahrscheinlich herabgesetzt und der Vorteil höherer Essigsäuregehalte zumindest teilweise wieder aufgehoben [LÜCK, 1985]. In der Literatur wird bei Inokulation von Silagen mit homofermentativen Milchsäurebakterien der gleichzeitige Zusatz heterofermentativer Milchsäurebakterien zur Steigerung der Essigsäurebildung oder der Zusatz von Mikroorganismen wie Propionsäurebakterien diskutiert [WYSS et al., 1991b; ASHBELL und WEINBERG, 1992; DAWSON et al., 1998]. Diese Zusätze sollen die aerobe Stabilität der Silagen erhöhen [PAHLOW, 1982]. Sie können einen guten Luftabschluß im Silo nicht ersetzen [PITT et al., 1991; RUXTON und GIBSON, 1994; WILLIAMS, 1994]. In den Praxissilierversuchen konnte in den Ballensilagen trotz niedriger Essigsäuregehalte bei ausreichendem Luftabschluß ein Pilzbefall eingeschränkt werden. Schlußfolgernd ist anzunehmen, daß zur Einschränkung von Pilzbefall der Gehalt an Gärsäuren mit antimykotischem Wirkungsspektrum gegenüber der Gewährleistung eines ausreichenden Luftabschlusses nur sekundären Charakter besitzt.

Silierzusätze wie Propionsäure werden bei Futtermitteln häufig gegen Schimmelbefall eingesetzt [MÜLLER et al., 1985; MAGAN und LACEY, 1986; LÄTTEMÄE und LINGVALL, 1996]. In den eigenen Untersuchungen bildeten sich in den Faßsilos (L 1), die den Randbereich von Horizontalsilos simulieren sollten, bei Lufteinfluß (Folienschluß) in allen Varianten relativ stark verschimmelte Randschichten aus. Die Wirkung von Propionsäure war erkennbar, aber nicht effektiv genug. In den Randschichten fand anscheinend ein permanenter Gasaustausch mit der Umgebung statt. Es ist anzunehmen, daß bei Lufteinfluß die Entwicklung von Oberflächenschimmeln in Silagen durch organische Säuren wie Propionsäure nicht wesentlich eingeschränkt werden kann. Darauf weisen auch Ergebnisse in der Literatur hin [PAHLOW, 1991; RANDBY, 1996]. Silierzusätze benötigen für ihre volle Wirksamkeit während der gesamten Lagerung anaerobe Bedingungen [HONIG, 1991]. Die Zahl lactat-assimilierender Hefen wie Vertreter der Gattungen *Candida* und *Hansenula* nimmt bei aeroben Bedingungen schlagartig zu [PAHLOW, 1982; JONSSON, 1989; WOOLFORD, 1990].

Bei höherem Welkgrad (T-Gehalt etwa 300 g/kg) stieg der Pilzbefall in den Randschichten der Faßsilos allgemein weiter an. Offenbar vergrößerte sich die Rückdehnung der Silagen und es kam zu stärkerem Lufteinfluß. Nach Angaben in der Literatur kann in praxisüblichen Horizontalsilos die Rückdehnung in den ersten 10-12 Stunden nach der Einlagerung bei Welksilagen einen Dichteverlust von etwa 120 kg FM/m³ (Maissilagen: etwa 50 kg FM/m³) bedeuten, weshalb Welksilagen wesentlich intensiver als Maissilagen zu verdichten sind [EDNER, 1985]. In den Kernschichten der Faßsilos wurde dagegen mit steigendem T-Gehalt ein tendenzieller Rückgang des Pilzbefalls und darüber hinaus ein positiver Effekt der Propionsäure festgestellt. Die Kernschichten der Faßsilos wurden bei höherem T-Gehalt anscheinend besser verdichtet und wiesen bessere anaerobe Be-

dingungen auf. Extensiv erzeugtes Grünfutter gilt als trockenmasse- und rohfaserreich und damit relativ schwer verdichtbar. Es ist nicht auszuschließen, daß bei Silierung derartigen Grünfutters in Horizontalsilos eine stärkere Rückdehnung als bei konventionell erzeugtem Siliergut auftritt und vor allem die Randschichten durch Pilzbefall gefährdet sind. Nach den eigenen Ergebnissen und Angaben in der Literatur kann dem effektiv nur durch eine höhere Lagerungsdichte entgegengewirkt werden [MÜLLER, 1969]. Schlußfolgernd aus der Literatur ist nicht auszuschließen, daß bei extensiv erzeugtem Grünfutter der notwendige Verdichtungszeitaufwand höher ist als bei konventionell erzeugtem Grünfutter, was die mögliche Einlagerungsleistung verringern kann [EDNER, 1985].

5.3 Mykotoxingehalt

Die Mykotoxinbildung in den Silagen wurde in den Untersuchungen anhand von Roquefortin C untersucht. Dieses Mykotoxin wird in der Literatur auch als „Leittoxin“ bei der Kontamination von Silagen mit *Penicillium roqueforti* - Toxinen angesehen [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996]. Zur Analyse von Roquefortin C in den Silagen wurde eine in der Literatur beschriebene Methode [ARMBRUSTER, 1994] an die eigenen Bedingungen (getrocknete und gemahlene Silageproben) angepaßt. Die Nachweisgrenze der angewandten Analysenmethode lag bei $\geq 0,05$ mg ROF/kg T.

In den durchgeführten Analysen konnte von einer geringen Pilzkeimzahl nicht auf eine toxfreie Silage geschlußfolgert werden. Dies wird auch in der Literatur berichtet [BÖHM, 1989]. In den vorliegenden Untersuchungen zum Toxinbildungsvermögen von *Penicillium roqueforti* - Isolaten war bei allen aus Grassilagen isolierten *Penicillium roqueforti* - Stämmen ein Bildungsvermögen für Roquefortin C vorhanden. Die entsprechenden Silageproben, aus denen die Pilzisolat stammten, waren jedoch nur zu einem Drittel toxinpositiv. Eine Toxinbildung setzt die Entwicklung von Pilzen voraus, aber ein Pilzwachstum hat nicht zwingend Toxinbildung zur Folge [THALMANN, 1989]. Die Mykotoxinbildung erfolgt gegenüber dem Wachstum unter engeren Bedingungen äußerer Einflußfaktoren wie Temperatur, a_w -Wert, pH-Wert und Sauerstoff- bzw. Kohlendioxidkonzentration [PARK und BULLERMAN, 1983; MAGAN et al., 1984; OMINSKI et al., 1994; FRISVAD und THRANE, 1995].

In den Praxis-silierungsversuchen wurde die Bildung von Roquefortin C anscheinend vor allem durch den Trockenmassegehalt der Silagen beeinflusst. Unterhalb eines T-Gehaltes von 450 g/kg wurde in ca. 88 % der in diesem T-Bereich vorliegenden Silageproben Roquefortin C nachgewiesen, insgesamt in 153 von 174 Proben. Im T-Bereich zwischen 450 und 550 g/kg waren noch 9 von 94 Silageproben Roquefortin C - positiv. Dagegen konnte bei einem T-Gehalt oberhalb 550 g/kg in allen hier vorliegenden Silagen (n = 62) Roquefortin C nicht nachgewiesen werden. In den Laborsilierungsversuchen übte der T-Gehalt der beimpften Silagen anscheinend ebenfalls den größten Einfluß auf die Bildung von Roquefortin C aus. Es ist nicht auszuschließen, daß hier durch den T-Gehalt auch die gebildete Toxinmenge beeinflusst wurde, die sich steigendem T-Gehalt tendenziell verringerte.

Die Mykotoxinbildung in den Praxis- und Laborsilierungsversuchen war anscheinend an einen höheren a_w -Wert gebunden als das Pilzwachstum. Dies kommt auch in zahlreichen Arbeiten in der Literatur

zum Ausdruck [MAGAN et al., 1984; CUERO et al., 1988; LACEY, 1989; FRISVAD, 1991; LACEY und MAGAN, 1991; OMINSKI et al., 1994; MOSS, 1996]. Der Minimal- a_w -Wert für die Mykotoxinbildung lag bei Pilzarten wie *Penicillium cyclopium*, *Penicillium expansum* und *Penicillium patulum* durchschnittlich um 1,0-1,2 Punkte höher als der Minimal- a_w -Wert für das Wachstum [NORTHOLT et al., 1978; NORTHOLT et al., 1979a]. In den Praxissilivversuchen war in den Ballensilagen ungeachtet von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß anscheinend noch genügend Sauerstoff für die Mykotoxinsynthese vorhanden. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß bei der Silagebereitung z.B. in Horizontalsilos wegen der größeren Schichthöhe als in Ballensilagen vergleichsweise mehr Kohlendioxid gebildet und insbesondere während der Lagerung zurückgehalten wird. Bezüglich der Mykotoxinbildung würden dadurch eventuell veränderte Bedingungen vorliegen. In der Literatur wird jedoch darauf verwiesen, daß auch bei relativ gasdichter Lagerung von Futtermitteln wie Getreide bei einer Gaszusammensetzung der Atmosphäre von unter 0,1 % Sauerstoff und bis zu 80 % Kohlendioxid noch Toxine gebildet werden können [SCHNEIDER, 1994 und dort zitierte Literatur]. In Arbeiten in der Literatur konnten hohe Konzentrationen von Kohlendioxid eine Mykotoxinbildung nicht grundsätzlich verhindern [ESCOULA und HENRY, 1975; ORTH, 1976b; RICE, 1980; COLE et al., 1983; HOCKING, 1988; LACEY, 1989; LACEY und MAGAN, 1991]. Schlußfolgernd aus den eigenen Untersuchungen kann zumindest für Ballensilagen angenommen werden, daß zur Einschränkung von Toxinbildung (Roquefortin C) ein ausreichendes Anwelken des Siliergutes auf T-Gehalte oberhalb 450 g/kg empfehlenswert ist. Dieser T-Bereich ist ebenso im Interesse einer guten Gärqualität anzustreben und in der Ballensilierung auch praxisüblich [KELLER et al., 1997].

Die in den Praxissilivversuchen in den Silagen gemessenen Gehalte an Roquefortin C waren jedoch relativ niedrig. Sie lagen meist unterhalb 1,0 mg ROF/kg T. In der Literatur wurden bei Grassilagen ebenso meist Gehalte in diesem Bereich festgestellt, wobei in visuell stark verschimmelten Silagen teilweise bis 15,3 mg ROF/kg T vorkamen [ARMBRUSTER, 1994; AUERBACH, 1996].

Die Toxizität von Roquefortin C ist in der Literatur umstritten. Bei Schafen ergaben Fütterungsversuche (16-18 Tage) mit Roquefortin C - angereicherten Silagen (0 / 5 bzw. 25 mg/kg Silage) jedoch keine akute Intoxikation der Versuchstiere [BAUER et al., 1997]. Eventuelle Gesundheitsrisiken für den Menschen infolge „carry over“ wurden danach als äußerst gering eingeschätzt. TÜLLER et al. kommen in ihren Untersuchungen zu der Schlußfolgerung, daß die Toxizität von Roquefortin C als sehr gering einzustufen ist [TÜLLER et al., 1998]. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse in der Literatur sind die in den durchgeführten Untersuchungen gemessenen Gehalte an Roquefortin C bei Verfütterung der Silagen an Wiederkäuer als sehr niedrig und nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand toxikologisch als nicht kritisch einschätzbar. Bei Vorhandensein von optimalen Bedingungen für das Schimmelpilzwachstum, welches einer Mykotoxinbildung immer vorausgeht, muß jedoch auch mit höheren als den in den Ballensilagen festgestellten Mykotoxingehalten gerechnet werden. Bei der Silagebereitung ist deshalb ein ausreichender Luftabschluß während der Lagerung zu gewährleisten und bei der Futterentnahme ist der Lufteinfluß auf ein Minimum zu begrenzen.

6. Zusammenfassung

Die weitgehende Vermeidung von Schimmelbefall ist eine Mindestanforderung an ein Silierverfahren. Neben der Verringerung von Nährstoffverlusten ist dies insbesondere für die Tiergesundheit bedeutsam. Für den Arbeitsschutz gilt diese Forderung sowohl bei der Verfütterung als auch bei anderweitiger Nutzung von Silagen wie etwa in der Nutzverbrennung oder Biogasgewinnung.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Ermittlung der Grenzbedingungen von Lagerungsdichte und äußerer Luftabschlußgüte, unter denen Schimmelbefall während der Silagelagerung eingeschränkt werden kann. Schwerpunkt bildeten 10 Praxis- und Laborsilierungsversuche mit extensiv erzeugtem Grünfutter, das infolge hoher Rohfasergehalte allgemein schwer verdichtbar ist und bei dessen Silierung oft starker Pilzbefall auftritt. Neben der Pilzkeimzahl wurde in den Silagen der Gehalt an Ergosterin und Roquefortin C bestimmt, wobei für die Analyse von Ergosterin eine eigene Methode entwickelt wurde. Zusätzlich wurde u.a. die Gasdurchlässigkeit von Stretchfolie radiometrisch gemessen und ein Methodenvergleich zur Beurteilung der aeroben Stabilität durchgeführt.

Im Versuchszeitraum 1995 - 1997 wurde Grünfutter jahreszeitlich verschiedener Aufwüchse unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen einsiliert. Mit Hilfe von drei verschiedenen Ballenpressen wurden insgesamt 165 Silageballen unterschiedlicher Lagerungsdichte erzeugt. In Verbindung mit gestaffelter Folienlagenzahl und Lagerungsdauer wurden der Einfluß des Luftabschlusses auf Gärqualität, Pilzwachstum und Mykotoxingehalt in den Silagen untersucht. Im Labor wurden vor allem Einflußfaktoren wie der Anwelkgrad sowie die Auswirkungen einer verstärkten Lufteinwirkung und von Schadbelastungen des Siliergutes auf die Silagen in Abhängigkeit von der Verdichtung geprüft.

In den Praxis-silierungsversuchen trat bei einem T-Gehalt unterhalb 400 g/kg trotz teilweise ausreichender Vergärbarkeit des Siliergutes (nach dem Vergärbarkeitskoeffizient) in allen Silagen eine relativ starke Buttersäurebildung auf, die vermutlich auf unzureichenden Luftabschluß zurückzuführen ist. Als Ursache für die ungewöhnliche Buttersäurebildung ist jedoch auch das Fehlen von Nitrat im Siliergut nicht auszuschließen. Im T-Bereich oberhalb 450 g/kg war bei dem vorliegenden extensiv erzeugten Grünfutter offenbar ein ausreichender T-Gehalt zur Sicherung der Gärqualität vorhanden, so daß bei ausreichendem Luftabschluß buttersäurefreie (≤ 3 g/kg T) Silagen erzielt wurden.

Die Erhöhung der Lagerungsdichte in den Silagen bildete in allen Versuchen die primäre Grundlage für die Erzeugung eines ausreichenden Luftabschlusses. Die äußere Luftabschlußgüte besaß demgegenüber sekundären Charakter. Als mindestens notwendige Grenzbedingungen für einen ausreichenden Luftabschluß sowohl im Hinblick auf die Erzeugung einer guten Gärqualität als auch in Bezug auf die Einschränkung von Pilzbefall in Silagen aus extensiv erzeugtem Grünfutter können aus den vorliegenden Ergebnissen eine Lagerungsdichte von etwa 200-210 kg T/m³ und eine maximale Gasdurchlässigkeit des Zudeckmaterials bzw. eine äußere Luftabschlußgüte von etwa 1,7 l/m² in 24 Stunden (entspricht 6 Folienlagen der verwendeten Stretchfolie) abgeleitet werden. Ein guter Luftabschluß erwies sich als Voraussetzung für die Wirksamkeit von Silierzusätzen bezüglich der Einschränkung von Pilzbefall sowie der Verbesserung der Gärqualität in den Silagen.

In den Praxissilivversuchen wurde mit der Rundballenpresse mit normaler Vorschneideeinrichtung offenbar eine im Mittel zu geringe Lagerungsdichte (Bereich: ca. 150-210 kg T/m³) in den Rundballensilagen (R) erzeugt. Auch bei einer äußeren Luftabschlußgüte von 6 und 8 Folienlagen wurde bei einigen Versuchen bzw. Ausgangsmaterialien kein ausreichender Luftabschluß in den Silagen erreicht. Mikrobielle Schaderreger wie Schimmelpilze, Clostridien und Listerien, die in jedem Versuchsjahr anscheinend vor allem bei den jahreszeitlich späten Aufwüchsen im Siliergut vorlagen, fanden in den Rundballensilagen (R) günstige Entwicklungsbedingungen vor. Die Pilzkeimzahl lag hierbei auch im Kernbereich der Silagen teilweise über dem Höchstwert von 100000 KBE/g FM.

Bei höherer Lagerungsdichte und ausreichendem Luftabschluß in den Silagen war trotz Schadbelastungen im Siliergut eine gute Gärqualität und die Einschränkung mikrobieller Schaderreger möglich. Durch die Verwendung einer Rundballenpresse mit verbesserter Vorschneideeinrichtung wurde das Siliergut intensiver zerkleinert und eine durchschnittlich um 10-15 % höhere Lagerungsdichte (Bereich: ca. 190-230 kg T/m³) in den Rundballensilagen (RS) erzeugt. Die Hälfte der mit verbesserter Vorschneideeinrichtung hergestellten Rundballensilagen wies eine Lagerungsdichte oberhalb 210 kg T/m³ auf. Dadurch wurde offensichtlich ein besserer Luftabschluß in den Silagen erzielt und ab 6 Folienlagen der Pilzbefall überwiegend eingeschränkt. Die Pilzkeimzahl im Rand- und vor allem Kernbereich der Silagen lag hier in der Regel unter dem für Silagen angenommenen Höchstwert von 100000 KBE/g FM. Hinsichtlich der Einschränkung von Pilzbefall konnte demnach durch die höhere Lagerungsdichte ein ausreichender Luftabschluß in den Rundballensilagen (RS) erzielt werden. Da im T-Bereich 450 bis 500 g/kg witterungsbedingt keine Versuche mit der Rundballenpresse mit verbesserter Vorschneideeinrichtung durchgeführt wurden, können für diesen T-Bereich keine Angaben gemacht werden. Für umfassende Aussagen zur hier mittels Siliergutzerkleinerung erreichbaren Gärqualität sind weitere Untersuchungen im T-Bereich 400 bis 500 g/kg notwendig.

Mit einer Compactrollenpresse, einem neuartigen Preßverfahren, konnte in den Silagen eine sehr hohe Lagerungsdichte (> 270 kg T/m³) und ein guter Luftabschluß erzielt werden. Die Pilzkeimzahl in den Compactrollensilagen (C) lag in allen Versuchen ab 6 Folienlagen im Kernbereich unter dem Schwellenwert (10000 KBE/g FM) und im Randbereich unter dem Höchstwert (100000 KBE/g FM). Die Silagen waren unabhängig vom jeweiligen Siliergut im Rand- und Kernbereich von relativ einheitlicher Gärqualität und im T-Bereich 450 bis 500 g/kg wurden buttersäurefreie Silagen erzielt.

Die Mykotoxinbildung in den Silagen, die am Beispiel von Roquefortin C untersucht worden ist, wurde ungeachtet von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß vor allem durch den T-Gehalt des Siliergutes beeinflusst. Unterhalb eines T-Gehaltes von 450 g/kg waren etwa 88 % der in diesem T-Bereich vorliegenden Silagen toxinpositiv. Im T-Bereich zwischen 450 und 550 g/kg enthielten noch etwa 10 % der hier vorliegenden Silagen Roquefortin C, überwiegend aber nur im Bereich der Nachweisgrenze ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T). Oberhalb eines T-Gehaltes von 550 g/kg im Siliergut wurde in den Silagen kein Roquefortin C mehr nachgewiesen. Die in den Ballensilagen gemessenen Gehalte waren mit < 1,0 mg ROF/kg T relativ niedrig. Sie sind bei Verfütterung der Silagen an Wiederkäuer nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand toxikologisch als nicht kritisch einschätzbar.

7. Literaturverzeichnis

- [ADLER, 1993] Adler, A.: Untersuchungen zur mikrobiellen Qualität von Silagen. Bericht über die österreichweite Silagetagung, LFS Grabnerhof / BAL Gumpenstein, 13.-14. Januar 1993: 45-53
- [AL-HILLI und SMITH, 1979] Al-Hilli, A.L.; Smith, J.E.: Influence of Propionic Acid on growth and Aflatoxin Production by *Aspergillus flavus*. FEMS Microbiol. Lett. 6, 1979: 367-370
- [AMEND und MÜLLER, 1984] Amend, R.; Müller, H.M.: Anhäufung von PR-Toxin und Mycophenolsäure durch Penicillien im YES-Medium und in Grünmaissilage. Landw. Forsch. Kongr.band, 1984: 606-614
- [AMEND, 1990] Amend, R.: Anhäufung der Mykotoxine Patulin, Penicillinsäure, PR-Toxin und Mycophenolsäure durch Penicillien auf Maissilage und auf halbsynthetischem Medium. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim, 1990
- [ANDERSON, 1985] Anderson, R.: The conservation and feeding value of high dry matter big bale silage. Rec. Agric. Res. 33, 1985: 25-30
- [APINIS, 1972] Apinis, A.E.: Thermophilic Fungi in Certain Grasslands. Mycopath. Mycol. Appl. 48, 1972: 63-74
- [ARIMI et al., 1997] Arimi, S.M.; Ryser, E.T.; Pritchard, T.J.; Donnelly, C.W.: Diversity of *Listeria* Ribotypes Recovered from Dairy cattle, Silage, and Dairy Processing Environments. J. Food Prot. 60, 1997 (7): 811-816
- [ARMBRUSTER, 1994] Armbruster, G.: Futtermittelhygienische Untersuchungen von Silagen: Nachweis und Vorkommen des Mykotoxins Roquefortin. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1994
- [ARNOLD et al., 1978] Arnold, D.L.; Scott, P.M.; McGuire, P.F.; Harwig, J.; Nera, E.A.: Acute toxicity studies on roquefortine and PR-toxin, metabolites of *Penicillium roqueforti*, in the mouse. Food Cosmet. Toxicol. 16, 1978: 369-371
- [ASHBELL und WEINBERG, 1992] Ashbell, G.; Weinberg, Z.G.: Top silage losses in horizontal silos. Can. Agric. Eng. 34, 1992: 171-175
- [AUERBACH und GEISLER, 1992] Auerbach, H.; Geissler, C.: Mykotoxine in Rauh- und Saftfuttermitteln für Wiederkäuer. Übers. Tierernährung 20, 1992: 167-208
- [AUERBACH, 1996] Auerbach, H.: Verfahrensgrundlagen zur Senkung des Risikos eines Befalls von Silagen mit *Penicillium roqueforti* und einer Kontamination mit Mykotoxinen dieses Schimmelpilzes. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim, 1996
- [AUERBACH et al., 1998] Auerbach, H.; Oldenburg, E.; Weissbach, F.: Incidence of *Penicillium roqueforti* and Roquefortine C in Silages. J. Sci. Food Agric. 76, 1998: 565-572
- [BAATH et al., 1990] Baath, H.; Knabe, O.; Lepom, P.: Vorkommen von *Fusarium*-Arten und ihren Mykotoxinen auf Silomais. 5. Mitteilung: Untersuchungen zum *Fusarium*-Befall von Silomais. Archiv Animal Nutrition 40, 1990 (4): 397-405
- [BATTILANI et al., 1996] Battilani, P.; Chiusa, G.; Cervi, C.; Trevisan, M.; Ghebbioni, C.: Fungal growth and ergosterol content in tomato fruits infected by fungi. Ital. J. Food Sci. 4, 1996: 283-289
- [BAUER et al., 1994] Bauer, F.; Jentsch, N.; Utke, M.; Wetzel, H.: Einsatz von Bio-Festbrennstoffen in der Wärmeersatzanlage Lübbenau. Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik 43, 1994 (9): 365-369
- [BAUER et al., 1987a] Bauer, J.; Heinritzi, M.; Gedek, B.: Veränderungen am Genitaltrakt des weiblichen Schweines nach Verfütterung praxisrelevanter Zearalenonmengen. Tierärztl. Praxis 15, 1987: 33-36
- [BAUER et al., 1987b] Bauer, J.; Gareis, M.; Detzler, W.; Gedek, B.; Heinritzi, K.; Kabilka, G.: Zur Entgiftung von Mykotoxinen in Futtermitteln. Tierärztl. Umschau 42, 1987 (1): 70-77
- [BAUER, 1988] Bauer, J.: Krankheit und Leistungsdepression in der Schweinehaltung durch Mykotoxine. Tierärztl. Praxis 16, 1988 (3): 40-47
- [BAUER und GAREIS, 1989] Bauer, J.; Gareis, M.: Untersuchungsmethoden für Mykotoxine. Dtsch. tierärztl. Wschr. 96, 1989 (7): 346-350

- [BAUER, 1990] Bauer, J.: Qualitätsbeeinflussung von Nahrungsmitteln durch Mykotoxine; Einflüsse landwirtschaftlicher Produktionsverfahren auf die Qualität von Nahrungsmitteln. (H. Knauer Hrsg.), DLG-Verlag, Frankfurt /M., 1990: 77-90
- [BAUER, 1991] Bauer, J.: Mykotoxine in der Nahrungskette. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongr.bd., Berlin 33, 1991: 49-55
- [BAUER, 1993] Bauer, J.: Vom Tier auf den Menschen übertragbare Mykotoxine. Proceedings, 20. Kongreß der DVG e.V., 20.-24.04.93 Bad Nauheim, 1993: 156-173
- [BAUER, 1994] Bauer, J.: Möglichkeiten zur Entgiftung mykotoxinhaltiger Futtermittel. Mh. Vet.-Med. 49, 1994: 175-181
- [BAUER et al., 1997] Bauer, J.; Tüller, G.; Wiedenmann, S.; Armbruster, G.; Seidel, K.; Schams, D.; Hänichen, T.: Toxicity of roquefortine in sheep. Proceedings, 19. Mykotoxin-Workshop 1997, München, 1997: 181-185
- [BEAN und MACFALL, 1982] Bean, G.A.; MacFall, J.S.: Microbial interactions as they affect aflatoxin production. Devel. Ind. Microbiol. 23, 1982: 221-228
- [BEAULIEU et al., 1993] Beaulieu, R.; Seoane, J.R.; Savoie, P.; Tremblay, D.; Tremblay, G.F.; Theriault, R.: Effects of dry-matter content on the nutritive value of individually wrapped round bale timothy silage fed to sheep. Can. J. Anim. Sci. 73, 1993: 343-354
- [BEDNARZ, 1994] Bednarz, H.: Landschaftspflege in der Nuthe-Nieplitz-Niederung. In: Technik und Verfahren zur Landschaftspflege und für die Verwertung der anfallenden Materialien. VDI / MEG-Kolloquium Agrartechnik, Bornim, 1994 (17): 137-144
- [BETINA, 1989] Betina, V.: Mycotoxins: Chemical, biological, and environmental aspects. Elsevier, New York, 1989
- [BEUCHAT, 1987a] Beuchat, L.R.: Food and beverage mycology. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York; 1987
- [BEUCHAT, 1987b] Beuchat, L.R.: Influence of water activity on sporulation, germination, outgrowth, and toxin production. Marcel Dekker, New York In: Rockland, L.B.; Beuchat, L.R. (Eds.): Water Activity: Theory and Application to Food. 1987: 137-151
- [BINDER et al., 1993] Binder, S.; Armbruster, G.; Hörmansdorfer, S.; Richter, W.; Hertkorn, N.; Bauer, J.: Zum Vorkommen von Mykotoxinen in Silagen. 105. VDLUFA Kongress, Hamburg, 1993
- [BJÖRNBERG und SCHNÜRER, 1993] Björnberg, A.; Schnürer, J.: Inhibition of the growth of grain-storage molds in vitro by the yeast *Pichia anomala* (Hansen) Kurtzman. Can. J. Microbiol. 39, 1993: 623-628
- [BJURMAN, 1994] Bjurman, J.: Ergosterol as an indicator of mould growth on wood in relation to culture age, humidity stress and nutrient level. Int. Biodeterior. Biodegrad., 1994: 355-368
- [BÖHM, 1992] Böhm, J.: Über die Bedeutung der Mykotoxine Desoxynivalenol, Zearalenon und Ochratoxin A für landwirtschaftliche Nutztiere. Arch. Anim. Nutr. 42, 1992: 95-111
- [BÖHM, 1989] Böhm, K.H.: Entwicklungsbedingungen für toxinbildende Pilze. Dtsch. tierärztl. Wschr. 96, 1989 (7): 339-341
- [BOLEY, 1988] Boley, A.: Einfluss des A_w -Wertes auf das Wachstum von Pilzen und die Mykotoxinbildung in Weizen bei 4 und 10°C. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim, 1988
- [BOTTOMLEY et al., 1950] Bottomley, R.A.; Christensen, C.M.; Geddes, W.F.: The influence of various temperatures, humidities and oxygen concentrations on mould growth and biochemical changes in stored yellow corn. Grain storage studies IX. Cereal Chem. 27, 1950: 271-296
- [BRASELTON und RUMLER, 1996] Braselton, W.E.; Rumler, P.C.: MS / MS screen for the tremorgenic mycotoxins roquefortine and penitrem A. J. Vet. Diagn. Invest. 8, 1996: 515-518
- [BULLERMAN, 1981] Bullerman, L.B.: Public health significance of molds and mycotoxins in fermented dairy products. J. Dairy Sci. 64, 1981: 2439-2452
- [BURRELL et al., 1973] Burrell, N.J.; Kozakiewicz, Z.; Armitage, D.M.; Clarke, J.H.: Some Experiments on the Treatment of Damp Maize with Propionic Acid. Ann. Technol. Agric. 22, 1973: 595-603
- [CAHAGNIER et al., 1983] Cahagnier, B.; Molard, R.D.; Poisson, J.: Evolution de la teneur en ergosterol des grains au cours de la conservation. Une possibilité d'évaluation quantitative et rapide de leur mycoflore. Sci. Aliments 3, 1983: 219-244

- [CATO et al., 1986] Cato, E.P.; George, W.L.; Finegold, S.M.: The genus *Clostridium*. In: Sneath, P.H.A.; Mair, N.S.; Sharpe, M.E. and Holt, J.G.: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Williams and Wilkins, Baltimore, 1986: 1141-1200
- [CHEN et al., 1982] Chen, F.-C.; Chen, C.-F.; Wei, R.-D.: Acute toxicity of PR Toxin, a mycotoxin from *Penicillium roqueforti*. *Toxicon* 20, 1982: 433-441
- [CHERKAWSKI, 1986] Cherkawski, J.W.: *An introduction to rumen studies*. Pergamon Press, Oxford-New York, 1986
- [CHU, 1995] Chu, F.S.: Mycotoxin analysis. In: Jeon, I.J.; Ikins, W.G.: *Analyzing Food for Nutrition Labeling and Hazardous Contaminants*. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hongkong, 1995: 283-332
- [CIOTTI et al., 1993] Ciotti, A.; Canale, A.; Valente, M.E.; Peiretti, P.G.: Effect of an inoculant of lactic acid bacteria on lucerne bale silage. *Proc. 10th Silage Conf.*, Dublin, Sept. 6th-8th 1993, 1993: 127-128
- [CLEVSTRÖM et al., 1989] Clevström, G.; Möller, T.; Göransson, B.; Liljensjö, A.; Ljunggren, H.: Influence of formic acid on fungal flora of barley and on aflatoxin production in *Aspergillus flavus* Link. *Mycopathologia* 107, 1989: 101-109
- [COLE et al., 1977a] Cole, R.J.; Kirksey, J.W.; Dorner, J.W.; Wilson, D.M.; Johnson Jr., J.C.; Johnson, A.N.; Bedell, D.M.; Springer, J.P.; Chexal, K.K.; Clardy, J.C.; Cox, R.H.: Mycotoxins Produced by *Aspergillus fumigatus* Species Isolated from Molded Silage. *J. Agric. Food Chem.* 25, 1977 (4): 826-830
- [COLE et al., 1977b] Cole, R.J.; Kirksey, J.W.; Dorner, J.W.; Wilson, D.M.; Johnson Jr., J.; Bedell, D.; Springer, J.P.; Chexal, K.K.; Clardy, J.; Cox, R.H.: Mycotoxins produced by *Aspergillus fumigatus* isolated from Silage. *Ann. Nutr. Alim.* 31, 1977: 685-692
- [COLE und COX, 1981] Cole, R.J.; Cox, R.H.: *Handbook of Toxic Fungal Metabolites*. Academic Press, New York, 1981
- [COLE et al., 1983] Cole, R.J.; Dorner, J.W.; Cox, R.H.; Raymond, L.W.: Two classes of alkaloid mycotoxins produced by *Penicillium crustosum* Thom isolated from contaminated beer. *J. Agric. Food Chem.* 31, 1983: 655-657
- [COLE, 1986] Cole, R.J.: *Modern Methods in the Analysis and Structural Elucidation of Mycotoxins*. Academic Press, New York, 1986
- [COMERIO et al., 1998] Comerio, R.; Fernández Pinto, V.E.; Vaamonde, G.: Influence of water activity on *Penicillium citrinum* growth and kinetics of citrinin accumulation in wheat. *Int. J. Food Microbiol.* 42, 1998: 219-223
- [COURTIN und SPOELSTRA, 1990] Courtin, M.G.; Spoelstra, S.F.: A simulation model of the microbiological and chemical change accompanying the initial stage of aerobic deterioration of silage. *Grass Forage Sci.* 45, 1990: 153-165
- [COUSIN, 1995] Cousin, M.A.: Chitin as a measure of mold contamination of agricultural commodities and foods. *J. Food Protec.* 59, 1995 (1): 73-81
- [CUERO et al., 1987] Cuero, R.G.; Smith, J.E.; Lacey, J.: Interaction of Water Activity, Temperature and Substrates on Mycotoxin Production by *Aspergillus flavus*, *Penicillium viridicatum* and *Fusarium graminearum* in Irradiated Grains. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 89, 1987: 222-226
- [CUERO et al., 1988] Cuero, R.G.; Smith, J.E.; Lacey, J.: Mycotoxin formation by *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* in Irradiated Maize Grains in the Presence of other fungi. *J. Food Prot.* 51, 1988: 452-456
- [DAMAGLOU et al., 1984] Damaglou, A. P.; Shannon, W.; Downey, G.A.: The Interaction Between Fusaria and Their Mycotoxins in Grass Silage. *J. Sci. Food Agric.* 35, 1984: 279-284
- [DANIEL, 1984] Daniel, P.: Silierfähigkeit und Silagequalität bei Wiesengras von Glatthaferwiesen. *Landwirtschaftl. Forschung* 37, 1984 (2): 142-153
- [DARBY und JOFRIET, 1993] Darby, D.E.; Jofriet, J.C.: Density of silage in horizontal silos. *Can. Agric. Engng.* 35, 1993 (4): 275-280
- [DAWSON et al., 1998] Dawson, T.E.; Rust, S.R.; Yokoyama, M.T.: Improved Fermentation and Aerobic Stability of Ensiled, High Moisture Corn with the Use of *Propionibacterium acidipropionici*. *J. Dairy Sci.* 81, 1998: 1015-1021

- [DELLAGLIO, 1985] Dellaglio, F.: Lactic acid bacteria in silage fermentation. *Microbiol. Alim. Nutr.* 3, 1985: 91-104
- [DERST, 1989] Derst, S.: Der Einfluß von wasserfreiem Ammoniak auf den Silierverlauf und die aerobe Stabilität von CCM- und Maissilage und der Einsatz ammonisierter CCM-Silage in der Schweinemast. Dissertation, Universität Hohenheim, 1989
- [DETZLER, 1985] Detzler, W.: Zur Entgiftung von Trichothecen mit physikalisch - chemischen Methoden. Dissertation, Universität München, 1985
- [DJAJAKIRANA und JOERGENSEN, 1996] Djajakirana, G.; Joergensen, R.G.: Changes in soil organic matter, microbial biomass C and ergosterol under a fairy ring of *Marasmius oreades*. *Pedobiol.* 40, 1996: 498-504
- [D'MELLO und MACDONALD, 1997] D'Mello, J.P.F.; MacDonald, A.M.C.: Mycotoxins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 69, 1997: 155-166
- [DROBY et al., 1989] Droby, S.; Chalutz, E.; Wilson, C.L.; Wisniewski, M.: Characterization of the biocontrol activity of *Debaromyces hansenii* in the control of *Penicillium digitatum* on grapefruit. *Can. J. Microbiol.* 35, 1989: 794-800
- [DUTKIEWICZ et al., 1989] Dutkiewicz, J.; Olenchok, S.A.; Sorensen, W.; Gerencser, V. F.; May, J.-J.; Pratt, D.S.; Robinson, V.A.: Levels of bacteria, fungi, and endotoxin in bulk and aerosolized corn silage. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 1989: 1093-1099
- [EDNER, 1985] Edner, H.-H.: Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 1985
- [EKBLAD et al., 1998] Ekblad, A.; Wallander, H.; Näsholm, T.: Chitin and ergosterol combined to measure total and living fungal biomass in ectomycorrhizas. *New Phytol.* 138, 1998: 143-149
- [EL-BANNA et al., 1987a] El-Banna, A.A.; Fink-Gremmels, J.; Leistner, L.: Investigation of *Penicillium chrysogenum* isolates for their suitability as starter cultures. *Mycotoxin Res.* 3, 1987: 77-83
- [EL-BANNA et al., 1987b] El-Banna, A.A.; Pitt, J.I., Leistner, L.: Production of mycotoxins by *Penicillium* species. *Systematic Applied Microbiology* 10, 1987: 42-46
- [EMANUEL et al., 1986] Emanuel, D.A.; Marx, J.; Ault, B.; Treuhaft, M.; Roberts, R.; Kryda, M.: Pulmonary Mycotoxicosis Revisited. *American J. Industr. Med.* 10, 1986: 305-306
- [ENGEL und TEUBER, 1978] Engel, G.; Teuber, M.: Simple aid for the identification of *Penicillium roqueforti* Thom. *Europ. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 6, 1978: 107-111
- [ESCOULA und HENRY, 1975] Escoula, L.; Henry, G.: Toxinogenic molds of silage. 5. Patulin and byssochlamic acid production by *Byssochlamys nivea* Westling on a laboratory silage model. *Ann. Rech. Vétér.* 6, 1975 (4): 311-314
- [ESCOULA, 1979] Escoula, L.: Fusarium graminearum dans les ensilages. Production de zéaralénone. *Ann. Rech. Vétér.* 10, 1979 (4): 615-617
- [EWALD, 1985] Ewald, C.: Zur Bestandsdiagnostik im Schweineproblembetrieb. Eine Fallstudie mykotoxinbedingter Aborte. *Prakt. Tierarzt* 66, 1985: 382-390
- [FEHRMANN und MÜLLER, 1990] Fehrmann, E.; Müller, T.: Jahresverlauf des epiphytischen Mikrobenbesatzes auf einem Graslandstandort. *Das Wirtschaftseigene Futter* 36, 1990 (1): 66-78
- [FENLON, 1985] Fenlon, D.R.: Wild birds and silage as reservoirs of *Listeria* in the agricultural environment. *J. Appl. Bacteriol.* 59, 1985: 537-543
- [FENLON et al., 1989] Fenlon, D.R.; Wilson, J.; Weddell, J.R.: The relationship between spoilage and *Listeria monocytogenes* contamination in bagged and wrapped big bale silage. *Grass Forage Sci.* 44, 1989: 97-100
- [FENLON et al., 1995] Fenlon, D.R.; Stewart, T.; Donachie, W.: The incidence, numbers and types of *Listeria monocytogenes* isolated from farm bulk tank milks. *Lett. Appl. Microbiol.* 20, 1995: 57-60
- [FINK-GREMMELES, 1994] Fink-Gremmels, J.: Mykotoxine in der Ätiologie humaner Erkrankungen. *Ernährungs-Umschau* 41, 1994 (6): 226-229
- [FRANK, 1990] Frank, H.K.: Einführung in die Mykotoxinforschung. *Angew. Botanik* 64, 1990: 151-165
- [FREVEL et al., 1985] Frevel, H.-J.; Engel, G.; Teuber, M.: Schimmelpilze in Silage und Rohmilch. *Milchwissenschaft* 40, 1985 (3): 129-132

- [FRISVAD und FILTENBORG, 1983] Frisvad, J.C.; Filtenborg, O.: Classification of terverticillate penicillia based on profiles of mycotoxins and other secondary metabolites. *Appl. Environ. Microbiol.* 46, 1983: 1301-1310
- [FRISVAD und FILTENBORG, 1989] Frisvad, J.C.; Filtenborg, O.: Analysis and screening for mycotoxins and other secondary metabolites in fungal cultures by Thin-Layer Chromatography and High-Performance Liquid Chromatography. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18, 1989: 331-335
- [FRISVAD, 1989] Frisvad, J.C.: The connection between the Penicillia and Aspergilli and Mycotoxins with Special Emphasis on Misidentified Isolates. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18, 1989: 452-467
- [FRISVAD, 1991] Frisvad, J.C.: Fungal Species and their Specific Production of Mycotoxins. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Delft In: Samson, R.A.; Hoekstra, E.; Frisvad, J.C.; Filtenborg, O.: Introduction to food-borne fungi. 1991: 239-249
- [FRISVAD und SAMSON, 1991] Frisvad, J.C.; Samson, R.A.: Filamentous Fungi in Foods and Feeds: Ecology, Spoilage, and Mycotoxin Production. In: Handbook of Applied Mycology, Vol. 3: Foods and Feeds (Ed.) Arora, D.K.; Mukerj, K.G.; Marth, E.H.: Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hongkong, 1991: 31-68
- [FRISVAD und THRANE, 1995] Frisvad, J.C.; Thrane, U.: Mycotoxin production by food-borne fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Delft In: Samson, R.A.; Hoekstra, E.; Frisvad, J.C.; Filtenborg, O.: Introduction to food-borne fungi. 1995: 251-260
- [FÜRL, 1973] Füll, C.: Rheologische Eigenschaften landwirtschaftlicher Halmgüter. *Wissenschaftl. Zeitschr. Universität Rostock* 22, 1973 (1): 119-126
- [FÜRL, 1975] Füll, Ch.: Physikalisch-mechanische Eigenschaften von angewelltem Siliergut - Bestimmungsmethoden und Ergebnisse. *Wissenschaftl. Zeitschr. der Uni Rostock, Mathemat.-Naturw. Reihe* 24, 1975 (4): 523-533
- [FÜRL et al., 1996] Füll, Ch.; Gläser, M.; Hempel, H.: Dichteigenschaften von hochverdichteten Halmgütern. *Landtechnik* 51, 1996 (3): 144-145
- [FYCHAN und JONES, 1996] Fychan, R.; Jones, R.: The effect of harvesting technology on effluent production. *Proc. 11th Int. Silage Conf., Aberystwyth, Sept. 8th-11th 1996*, 1996: 218-219
- [GALTIER, 1998] Galtier, P.: Biological fate of mycotoxins in animals. *Revue Med. Vet.* 149, 1998: 549-554
- [GAREIS et al., 1985] Gareis, M.; Bauer, J.; Gedek, B.: Fusarientoxine in Futtermitteln. Nachweis und Vorkommen von Trichothecen. *Tierärztl. Prax. Suppl.* 1, 1985: 8-19
- [GEDEK, 1973] Gedek, B.: Futtermittelverderb durch Bakterien und Pilze und seine nachteiligen Folgen. *Übers. Tierern.* 1, 1973: 45-56
- [GEDEK, 1974] Gedek, B.: Möglichkeiten und Grenzen der mikrobiologischen Futtermittelkontrolle. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 81, 1974: 37-40, 65-69
- [GEDEK et al., 1981] Gedek, B.; Bauer, J.; Schreiber, H.: Zur Mykotoxinbildung Silage-verderbender Schimmelpilze. *Wien. tierärztl. Mschr.* 68, 1981 (8/9): 299-301
- [GEDEK, 1984] Gedek, B.: Mykotoxineinflüsse auf die Trächtigkeit und Laktation der Sau. *Tierärztl. Umschau* 39, 1984: 461-469
- [GEDEK, 1985] Gedek, B.: Toxine, insbesondere Mykotoxine, in Futtermitteln. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 92, 1985: 215-218
- [GEISEN, 1995] Geisen, R.: Nachweis und Charakterisierung von mykotoxinbildenden Schimmelpilzen durch molekularbiologische Techniken. *Proceedings, 17. Mykotoxin-Workshop 1995, Braunschweig-Völkenrode (FAL)*, 1995: 72-75
- [GERLACH und ROBOHM, 1991] Gerlach, M.; Robohm, K.-F.: Beseitigung von Mykotoxinen. *Krafftutter* 2, 1991: 60-64
- [GESSNER und SCHMITT, 1996] Gessner, M.O.; Schmitt, A.L.: Use of Solid-Phase Extraction To Determine Ergosterol Concentrations in Plant Tissue Colonized by Fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 1996 (2): 415-419
- [GIBSON, 1965] Gibson, T.: Clostridia in Silage. *J. Appl. Bacteriol.* 28, 1965: 56-62
- [GILBERT, 1993] Gilbert, J.: Recent advances in analytical methods for mycotoxins. *Food Additives and Contaminants* 10, 1993 (1): 37-48
- [GIRARDIN, 1997] Girardin, H.: Detection of filamentous fungi in food. *Sci. Aliments* 17, 1997: 3-19

- [GIVENS et al., 1987] Givens, D.I.; Roscoe, S.; Brunnen, J.M.: Fermentation characteristics in clamp and big bale silages. Brit. Soc. Anim. Prod. 44, 1987: 473-474
- [GIVENS et al., 1993] Givens, D.I.; Moss, A.R.; Adamson, A.H.: Prediction of the digestibility and energy value of grass silage conserved in big bales. Anim. Feed Sci. Technol. 41, 1993: 297-312
- [GLÄSER und FUCHS, 1993] Gläser, M.; Fuchs, H.: Einsatz radiometrischer Methoden in der agartechnischen Forschung. Kerntechnik 58, 1993 (1): 48-54
- [GOLDING, 1940] Golding, N.S.: The Gas Requirements of molds. III. The Effect of Various Concentrations of Carbon Dioxide on the Growth of *Penicillium roqueforti* (Three Strains Originally Isolated from Blue Veined Cheese) in Air. J. Dairy Sci. 23, 1940: 891-898
- [GOLDING, 1945] Golding, N.S.: The Gas Requirements of molds. IV. A Preliminary Interpretation of the Growth Rates of Four Common Mould Cultures on the Basis of Absorbed Gases. J. Dairy Sci. 28, 1945: 737-750
- [GORDON et al., 1993] Gordon, K.E.; Masotti, R.E.; Waddell, W.R.: Tremorgenic encephalopathy: A role of mycotoxins in the production of CNS disease in humans? Can. J. Neurol. Sci. 20, 1993 (3): 237-239
- [GOURAMA und BULLERMAN, 1995a] Gourama, H.; Bullerman, L.B.: Antimycotic and Antiaflatoxicogenic Effect of Lactic Acid Bacteria: A Review. J. Food Protection 58, 1995 (11): 1275-1280
- [GOURAMA und BULLERMAN, 1995b] Gourama, H.; Bullerman, L.B.: Detection of Molds in Foods and Feeds: Potential Rapid and Selective Methods. J. Food Protection 58, 1995 (12): 1389-1394
- [GRANT et al., 1995] Grant, M.A.; Eklund, C.A.; Shields, S.C.: Monitoring Dairy Silage for Five Bacterial Groups with Potential for Human Pathogenesis. J. Food Protection 58, 1995 (8): 879-883
- [GUNNARSSON et al., 1996] Gunnarsson, T.; Almgren, I.; Lydén, P.; Ékesson, H.; Jansson, H.-B.; Odham, G.; Gustafsson, M.: The use of ergosterol in the pathogenic fungus *Bipolaris sorokiniana* for resistance rating of barley cultivars. Europ. J. Plant Pathol. 20, 1996: 883-889
- [HABERMEHL, 1989] Habermehl, G.: Die Bedeutung von Mykotoxikosen für Mensch und Tier. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 96, 1989 (7): 335-338
- [HÄGGBLUM, 1990] Häggblom, P.: Isolation of roquefortine C from feed grain. Applied Environmental Microbiology 56, 1990: 2924-2926
- [HÄGGBLUM et al., 1990] Häggblom, P.; Persson, I.; Holmberg, T.: A mycotoxin with neurological effects isolated from grain used for feed. Svensk-Veterinartidning 42, 1990 (14): 619-620
- [HAIGH, 1990] Haigh, P.M.: The effect of dry matter content on the preservation of big bale grass silages made during the autumn on commercial farms in South Wales 1983-87. Grass and Forage Science 45, 1990: 29-34
- [HAIGH und PEERS, 1992] Haigh, P.M.; Peers, D.G.: A note on the chemical composition of big-bale silages on Welsh farms, 1984-1988. Irish J. Agric. Food Res. 31, 1992: 193-197
- [HAIGH, 1994] Haigh, P.M.: A review of agronomic factors influencing grass silage effluent production in England and Wales. J. Agric. Eng. Res. 59, 1994: 73-87
- [HAIGH, 1995] Haigh, P.M.: Chemical composition and energy value of big bale silages made in England, 1984-1991. J. Agric. Eng. Res. 60, 1995: 211-216
- [HAIGH et al., 1996] Haigh, P.M.; Chapple, D.G.; Powell, T.L.: Effect of silage additives on big-bale grass silage. Grass and Forage Science 51, 1996: 318-323
- [HOCKING, 1988] Hocking, A.D.: Responses of Fungi to Modified Atmospheres. CSIRO Food Res. Q. 48, 1988: 56-65
- [HOFFMANN et al., 1998] Hoffmann, J.; Hentschke, J.; Kaiser, E.: Untersuchungen zum Auftreten von Listerien in Silagen. Ökologische Hefte 9, Humboldt-Universität zu Berlin, 1998: 163-170
- [HÖLTERSHINKEN et al., 1995] Höltershinken, M.; Mauruschat, A.; Bauer, J.; Böhm, K.H.; Scholz, H.: Untersuchungen zum Einfluß von *Penicillium roqueforti* und dessen Mykotoxin Roquefortin auf die Pansenfermentation *in vitro*. Proceedings, 21. Kongreß der DVG e.V., 21.-24.03.95 Bad Nauheim, 1995: 265-272
- [HOMBURG, 1985] Homburg, H.: Auswirkungen einer Impfung mit Milchsäurebakterien auf die Gärfutterqualität. Das Wirtschaftseigene Futter 31, 1985: 184-192

- [HONIG und PAHLOW, 1986] Honig, H.; Pahlow, G.: Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silage-Impfkulturen aus Milchsäurebakterien. 2.Mitteilung: Wirkung von Anwelkggrad, Feldliegedauer und Zuckerzusatz auf das Konservierungsergebnis bei Gras. Das Wirtschaftseigene Futter 32, 1986: 205-228
- [HONIG, 1987] Honig, H.: Gärbiologische Voraussetzungen zur Gewinnung qualitätsreicher Anwelksilage. In: Grünfütterernte und Konservierung. Darmstadt, KTBL-Arbeitspapier 318, 1987
- [HONIG, 1991] Honig, H.: Reducing losses during storage and unloading of silage. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 123, 1991: 116-128
- [HORN und WICKLOW, 1983] Horn, R.W.; Wicklow, D.T.: Factors influencing the inhibition of aflatoxin production in corn by *Aspergillus niger*. Can. J. Microbiol. 29, 1983: 1087-1091
- [IKINS, 1991] Ikins, W.G.: Modern methods of analyzing mycotoxins in foods. In: Ikins, W.G.; Fung, D.Y.C.; Matthews, R.F.: Instrumental methods for quality assurance in foods. Food Science and Technology 45, 1991: 117-154
- [ITOKAWA et al., 1995] Itokawa, N.; Honda, Y.; Kobayashi, R.: Characteristics and quality of wrapped big bale silage under various conserving conditions. J. Japan. Grassl. Sci. 40, 1995: 478-487
- [JAECKEL, 1995] Jaeckel, S.: Untersuchungen zum Nachweis von Aspergillen und Penicillien in Futtermitteln anhand ihrer extrazellulären Polysaccharide mittels eines Sandwich-Enzymimmunoassays. Dissertation, Universität Hannover, 1995
- [JELINEK et al., 1989] Jelinek, C.F.; Pohland, A.E.; Wood, G.E.: Worldwide occurrence of mycotoxins in foods and feeds - an update. J. Ass. Off. analyt. Chem. 72, 1989: 223-230
- [JOKI-TOKOLA, 1992] Joki-Tokola, E.: The effect of dry matter content, storing place and sealing method on the quality of big bale silage. Proc. 14th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed., Lahti, June 8th-11th 1992, 1992: 591-592
- [JONSSON, 1989] Jonsson, A.: The role of Yeasts and Clostridia in Silage Deterioration. Sveriges Lantbruksuniversitet 42, 1989
- [JONSSON und PAHLOW, 1983] Jonsson, A.; Pahlow, G.: Physiologische und taxonomische Untersuchungen zur Hefeentwicklung in Grassilagen mit Lactobacterienzusatz. Landbauforschung Völkenrode 33, 1983: 72-87
- [JONSSON und PAHLOW, 1984] Jonsson, A.; Pahlow, G.: Systematic classification and biochemical characterization of yeasts growing in grass silage inoculated with Lactobacillus cultures. Anim. Res. Develop. 20, 1984: 7-22
- [JONSSON und LINDGREN, 1989] Jonsson, A.: Effects of pH and lactic, formic and acetic acids on growth of lactic acid fermenting clostridia. Sveriges Lantbruksuniversitet 42, 1989 (4): 1-14
- [JONSSON et al., 1990] Jonsson, A.; Lindberg, H.; Sundås, S.; Lingvall, P.; Lindgren, S.: Effect of additives on the quality of big-bale silage. Anim. Feed Sci. Technol. 31, 1990: 139-155
- [JONSSON et al., 1997] Jonsson, A.; Winqvist, F.; Schnürer, J.; Sundgren, H.; Lundström, I.: Electronic nose for microbial quality classification of grains. Intern. J. Food Microbiol. 35, 1997: 187-193
- [KAISER und WEISSBACH, 1989] Kaiser, E.; Weissbach, F.: Zum Einfluß des Nitratgehaltes im Grünfütter auf den Gärungsverlauf bei der Silierung. 1. Mitt., Wiss. Z. HUB 38, 1989: 78-84
- [KAISER et al., 1994] Kaiser, E.; Zimmer, J.; Schmerbauch, K.: Bedeutung des Nitratgehaltes im Mähgut für die Frischverfütterung und Konservierung des Materials – Erste Ergebnisse zur Silierung extensiv erzeugten Grünfutters. In: Technik und Verfahren zur Landschaftspflege und für die Verwertung der anfallenden Materialien. VDI / MEG-Kolloquium Agrartechnik, Bornim, 1994 (17): 196-205
- [KAISER et al., 1997] Kaiser, E.; Weiss, K.; Zimmer, J.: Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter. 1. Gärungsverlauf in unbehandeltem Grünfütter. Archiv Animal Nutrition 50, 1997 (1): 87-102
- [KAISER und WEISS, 1997] Kaiser, E.; Weiss, K.: Zum Gärungsverlauf bei der Silierung von nitratarmem Grünfütter. 2. Gärungsverlauf bei Zusatz von Nitrat, Nitrit, Milchsäurebakterien und Ameisensäure. Archiv Animal Nutrition 50, 1997 (1): 187-200
- [KAISER et al., 1998] Kaiser, E.; Krause, R.; Weiss, K.: Beurteilung der Gärqualität von Grassilagen anhand des neuen DLG-Bewertungsschlüssels - Ergebnisse von Praxissilagen. 110. VDLUFA-Kongress, Gießen, Kurzfassung, 1998: 161

- [KAMPHUES, 1996] Kamphues, J.: Risiken durch Mängel in der hygienischen Qualität von Futtermitteln für Pferde. *Pferdeheilkunde* 12, 1996 (3): 326-332
- [KARUNARATNE et al., 1990] Karunaratne, A.; Wezenberg, E.; Bullerman, L.B.: Inhibition of Mold Growth and Aflatoxin Production by *Lactobacillus* spp. *J. Food Protection* 53, 1990 (3): 230-236
- [KASPER und HAHN, 1994] Kasper, B.; Hahn, J.: Thermische Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege. In: *Technik und Verfahren zur Landschaftspflege und für die Verwertung der anfallenden Materialien*. VDI/MEG-Kolloquium Agrartechnik, Bornim, 1994 (17): 224-232
- [KELLER et al., 1994] Keller, T.; Nonn, H.; Jeroch, H.: Einsatz biologischer Siliermittel bei der Rundballensilierung von Luzerne. *Kühn-Archiv* 88, 1994: 187-196
- [KELLER, 1995] Keller, T.: Untersuchungen zur Rundballensilierung von Luzerne mit biologischen Silierzusätzen. Dissertation, Universität Halle, 1995
- [KELLER et al., 1997] Keller, T.; Thaysen, J.; Matthias, J.; Jeroch, H.; Kamphues, J.: Bereitung von Pressen-Silagen - Verfahrenstechnik, Silagequalität und ökonomische Bewertung. *Übers. Tierernährung* 25, 1997: 155-187
- [KIESSLING et al., 1982] Kiessling, K.H.; Pettersson, H.; Tiedeman, K.; Andersson, I.-L.: A Survey of Aflatoxin and *Aspergillus flavus/parasiticus* in Acid Treated Swedish Grain. *J. Agric. Res.* 12, 1982: 63-67
- [KIESSLING et al., 1984] Kiessling, K.H.; Pettersson, H.; Sandholm, K.; Olsen, M.: Metabolism of aflatoxin, ochratoxin, zearalenone and three trichothecenes by intact rumen fluid, rumen protozoa and rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 47, 1984: 1070-1074
- [KILPATRICK, 1992] Kilpatrick, T.P.: Mycotoxicosis in cows. *Vet. Record* 131, 1992 (25/26): 592
- [KLICH und PITT, 1992] Klich, M.A.; Pitt, J.I.: A Laboratory Guide to Common *Aspergillus* Species and their Teleomorphs. CSIRO Food Research Laboratory, 1992
- [KNABE et al., 1986] Knabe, O.; Fechner, M.; Weise, G.: Verfahren der Silageproduktion. *Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin*, 1986
- [KNAUER, 1993] Knauer, N.: Beweidung mit Nutztieren. *Neue Landwirtschaft*, 1993 (2): 64-66
- [KOTIMAA, 1990] Kotimaa, M.: Spore exposure arising from stored hay, grain and straw. *J. Agric. Sci. in Finland* 62, 1990: 285-291
- [KOTIMAA et al., 1991] Kotimaa, M.; Oksanen, L.; Koskela, P.: Feeding and bedding material as sources of microbial exposure on dairy farms. *Scandinavian J. Work Environ. & Health* 17, 1991: 117-122
- [KRÄMER, 1992] Krämer, J.: Lebensmittel-Mikrobiologie. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 1992
- [KWELLA und WEISSBACH, 1991] Kwella, M.; Weissbach, F.: Clostridial spore content of silages and influence of air contact. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 123, 1991: 447-450
- [LACEY, 1989] Lacey, J.: Prevention of mould growth and mykotoxin production through control of environmental factors. Collection of Invited papers presented at the 7th International IUPAC-Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins, Tokyo. In: Natori, S.; Hashimoto, K.; Ueno, Y. (Eds.): *Mycotoxins and Phycotoxins* 88, 1989: 161-168
- [LACEY und MAGAN, 1991] Lacey, J.; Magan, N.: Fungi in cereal grains: their occurrence and water and temperature relationships. In: Chelkowski, L. (Ed.): *Cereal Grain: Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage*. Elsevier, Amsterdam-London-New York-Tokyo, 1991: 77-118
- [LAINE et al., 1996] Laine, M.H.; Karwoski, M.T.; Raaska, L.B.; Mattila-Sandholm, T.-M.: Antimicrobial activity of *Pseudomonas* spp. against food poisoning bacteria and moulds. *Letters Appl. Microbiol.* 22, 1996: 214-218
- [LAMACKA und SAJBIDOR, 1997] Lamacka, M.; Sajbidor, J.: Ergosterol determination in *Saccharomyces cerevisiae*. Comparison of different methods. *Biotechn. Techn.* 11, 1997 (10): 723-725
- [LANDERS et al., 1967] Landers, K.E.; Davis, N.D.; Diener, U.L.: Influence of atmospheric gases on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts. *Phytopathology* 57, 1967: 1086-1090
- [LANDES et al., 1995] Landes, E.; Jaeckel, S.; Siesentop, U.; Kamphues, J.: Untersuchungen zum Nachweis von Aspergillen und Penicillien in Futtermitteln auf immunologischer Basis. *Proceedings, 17. Mykotoxin-Workshop 1995, Braunschweig-Völkenrode (FAL)*, 1995: 76-79
- [LANDES, 1996] Landes, E.: Mutterkorn in Futtermitteln für Rinder. *Übers. Tierernährg.* 24, 1996: 92-101

- [LÄTTEMÄE und LINGVALL, 1996] Lättemäe, P.; Lingvall, P.: Effect of Hexamine and Sodium Nitrite in Combination with Sodium Benzoate and Sodium Propionate on Fermentation and Storage Stability of Wilted and Long Cut Grass Silage. Swedish J. agric. Res. 26, 1996: 135-146
- [LE BARS und LE BARS, 1989] Le Bars, J.; Le Bars, P.: Espèces fongiques ensilages de maïs risques mycotoxiques. Rec. Med. Vet. 165, 1989 (5): 433-439
- [LE BARS und LE BARS, 1998] Le Bars, J.; Le Bars, P.: Strategy for safe use of fungi and fungal derivatives in food processing. Revue Med. Vet. 149, 1998 (6): 493-500
- [LEPOM, 1988] Lepom, P.: Untersuchung zur Bildung und zum Nachweis von Fusarium-Toxinen. Berlin, AdL der DDR, Dissertation B, 1988
- [LEPOM et al., 1988] Lepom, P.; Baath, H.; Knabe, O.: Vorkommen von Fusarium-Arten und ihren Mykotoxinen auf Silomais. 3. Mitt.: Der Einfluß der Silierung auf den Zearalenongehalt von CCM-Mais. Archiv Animal Nutrition 38, 1988 (9): 817-823
- [LEPOM und KLOSS, 1988] Lepom, P.; Kloss, H.: Production of sterigmatocystin by *Aspergillus versicolor* isolated from roughage. Mycopathologia 101, 1988: 25-29
- [LEPOM et al., 1990] Lepom, P.; Knabe, O.; Baath, H.: Vorkommen von Fusarium-Arten und ihren Mykotoxinen auf Silomais. 7. Mitteilung: Bildung von Deoxynivalenol (DON) in einem künstlich mit *Fusarium culmorum* infizierten Silomaisbestand sowie der Einfluß der Silierung auf die Stabilität des gebildeten DON. Archiv Animal Nutrition 40, 1990 (4): 1005-1012
- [LEW, 1995] Lew, H.: Mykotoxinbelastung von Getreide und Konsequenzen für seine Verarbeitung. Getreide, Mehl und Brot 49, 1995 (1): 16-19
- [LILLEHOJ et al., 1972] Lillehoj, E.B.; Milburn, M.S.; Ciegler, A.: Control of *Penicillium martensii* Development and Penicillic Acid production by Atmospheric Gases and temperature. Appl. Microbiol. 24, 1972: 198-201
- [LILLEHOJ und ELLING, 1983] Lillehoj, E.B.; Elling, F.: Environmental conditions that facilitate ochratoxin contamination of agricultural commodities. Acta Agric. Scand. 33, 1983: 113-128
- [LIN et al., 1992] Lin, C.; Bolsen, K.K.; Brent, B.E.; Hart, R.A.; Dickerson, J.T.; Feyerherm, A.M.; Aimutis, W.R.: Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn. J. Dairy Sci. 75, 1992: 2484-2493
- [LINDGREN et al., 1985] Lindgren, S.; Pettersson, K.; Jonsson, A.; Lingvall, P.; Kaspersson, A.: Silage inoculation; Selected strains, temperature, wilting and practical application. In: Ensiling of forages. Swedish J. Agric. Res., Sveriges Lantbruksuniversitet 15, 1985: 9-18
- [LINDGREN, 1991] Lindgren, S.: Hygienic problems in conserved forage. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 123, 1991: 177-190
- [LORD et al., 1981a] Lord, K.A.; Lacey, J.; Cayley, G.R.; Manlove, R.: Fatty acids as substrates and inhibitors of fungi from propionic acid treated hay. Trans. Br. Mycol. Soc. 77, 1981: 41-45
- [LORD et al., 1981b] Lord, K.A.; Cayley, G.R.; Lacey, J.: Laboratory application of preservatives to hay and the effects of irregular distribution on mould development. Anim. Feed Sci. Technol. 6, 1981: 73-82
- [LOUHELAINEN et al., 1997] Louhelainen, K.; Kangas, J.; Reiman, M.; Kalliokoski, P.: Farmers exposure to dusts and gases in modern Finnish cubicle cow houses. Agric. Food Sci. Finland 6, 1997: 207-217
- [LOVETT und THOMPSON, 1978] Lovett, J.; Thompson, R.G.: Patulin Production by Species of *Aspergillus* and *Penicillium* at 1.7, 7.2 and 12.8°C. J. Food Prot. 41, 1978: 195-197
- [LOWES et al., 1992] Lowes, N.R.; Smith, R.A.; Beck, B.E.: Roquefortine in the stomach contents of dogs suspected of strychnine poisoning in Alberta. Can. Vet. J. 33, 1992: 535-538
- [LÜCK, 1985] Lück, E.: Chemische Lebensmittelkonservierung: Stoffe, Wirkungen, Methoden. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1985
- [MAGAN et al., 1984] Magan, N.; Cayley, G.R.; Lacey, J.: Effect of Water Activity and Temperature on Mycotoxin Production by *Alternaria alternata* in Culture and on Wheat Grain. Appl. Environ. Microbiol. 47, 1984 (5): 1113-1117
- [MAGAN und LACEY, 1984a] Magan, N.; Lacey, J.: Effect of Temperature and pH on Water Relations of Field and Storage Fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 82, 1984: 71-81
- [MAGAN und LACEY, 1984b] Magan, N.; Lacey, J.: Effect of Water Activity, Temperature and Substrate on Interactions Between Field and Storage Fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 82, 1984: 83-93

- [MAGAN und LACEY, 1984c] Magan, N.; Lacey, J.: Effects of Gas Composition and Water Activity on Growth of Field and Storage Fungi and Their Interactions. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 82, 1984: 305-314
- [MAGAN und LACEY, 1985] Magan, N.; Lacey, J.: Interactions Between Field and Storage Fungi on Wheat Grain. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 85, 1985: 29-37
- [MAGAN und LACEY, 1986] Magan, N.; Lacey, J.: The effects of two ammonium propionate formulations on growth *in vitro* of *Aspergillus* species isolated from hay. *J. Appl. Bacteriol.* 60, 1986: 221-225
- [MANTLE et al., 1983] Mantle, P.G.; Perera, K.P.W.C.; Maishman, N.J.; Mundy, G.R.: Biosynthesis of penitrems and roquefortine by *Penicillium crustosum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45, 1983: 1486-1490
- [MARIN et al., 1998a] Marin, S.; Sanchis, V.; Ramos, A.J.; Vinas, I.; Magan, N.: Environmental factors, *in vitro* interactions, and niche overlap between *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. graminearum*, *Aspergillus* and *Penicillium* species from maize grain. *Mycol. Res.* 102, 1998 (7): 831-837
- [MARIN et al., 1998b] Marin, S.; Companys, E.; Sanchis, V.; Ramos, A.J.; Magan, N.: Effect of water activity and temperature on competing abilities of common maize fungi. *Mycol. Res.* 120, 1998 (8): 959-964
- [MARQUARDT und FROHLICH, 1990] Marquardt, R.R.; Frohlich, A.: Ochratoxin A: an important western Canadian storage mycotoxin. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 68, 1990: 991-999
- [MÄRTLBAUER und BECKER, 1995] Märtlbauer, E.; Becker, H.: Immunologischer Nachweis von Mikroorganismen und Toxinen in Lebensmitteln: Anwendungen und Perspektiven. *Fleischwirtschaft* 75, 1995 (9): 1092-1098
- [MATTHIES, 1991] Matthies, H.J.: Die Compactrollenpresse. *Landtechnik* 46, 1991 (5): 225-229
- [MAYERL, 1990] Mayerl, D.: Die Landschaftspflege im Spannungsfeld zwischen gezieltem Eingreifen und natürlicher Entwicklung. *Natur und Landschaft* 65, 1990 (4): 167-175
- [MCCAUSLAND et al., 1987] McCausland, I.P.; Slee, K.J.; Hirst, F.S.: Mycotic abortion in cattle. *Austral. Vet. J.* 64, 1987 (5): 129-132
- [MCDONALD et al., 1991] McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S.J.E.: *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, Marlow, 1991
- [MCGECHAN, 1990] McGechan, M.B.: A review of losses arising during conservation of grass forage: part 2, storage losses. *J. Agric. Eng. Res.* 45, 1990: 1-30
- [MCGECHAN, 1991] McGechan, M.B.: Modelling the process of forage conservation. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 123, 1991: 245-255
- [MCGECHAN et al., 1994] McGechan, M.B.; Williams, A.G.: A model of air infiltration losses during silage storage. *J. Agric. Eng. Res.* 57, 1994: 237-249
- [MEISEL, 1984] Meisel, K.: Landwirtschaft und „Rote Listen“ – Pflanzenarten. *Natur und Landschaft* 59, 1984 (7/8): 301-307
- [MILLER und YOUNG, 1997] Miller, J.D.; Young, J.Ch.: The Use of Ergosterol to Measure Exposure to Fungal Propagules in Indoor Air. *Am. Ind. Hyg. Asso. J.* 58, 1997: 39-43
- [MILLS, 1990] Mills, T.J.: Mycotoxins and mycotoxigenic fungi on cereal grains in western Canada. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 68, 1990: 982-986
- [MISAGHI et al., 1995] Misaghi, I.J.; Cotty, P.J.; Decianne, D.M.: Bacterial Antagonists of *Aspergillus flavus*. *Biocontrol Sci. Technol.* 5, 1995: 387-392
- [MISLIVEC und TUIITE, 1970] Mislivec, P.B.; Tuite, J.: Temperature and Relative Humidity Requirements of Species of *Penicillium* Isolated from Yellow Dent Corn Kernels. *Mycologia* 62, 1970: 75-88
- [MOLSAN et al., 1998] Molsan, P.G.; Andrews, G.A.; DeBey, B.M.; Nietfeld, J.C.: Listeriosis Associated with Silage Feeding in Six Midwestern Cattle Herds. *Large Animal Practice* 19, 1998 (5): 40-46
- [MOON, 1983] Moon, N.J.: Inhibition of the growth of acid tolerant yeasts by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. *J. Appl. Bacteriol.* 55, 1983: 453-460
- [MOREAU, 1980] Moreau, S.: Le *Penicillium roqueforti*, morphologie, physiologie, intérêt en industrie fromagère, mycotoxines (Révision bibliographique). *Le Lait* 60, 1980: 254-271

- [MOSS, 1996] Moss, M.O.: Mycotoxins. Mycol. Res. 100, 1996 (5): 513-523
- [MUCK et al., 1992] Muck, R.E.; Spoelstra, S.F.; van Wikelslaar, P.G.: Effects of carbon dioxide on fermentation and aerobic stability of maize silage. J. Sci. Food Agric. 59, 1992: 405-412
- [MÜLLER und HÖRBER, 1982] Müller, H.-M.; Hörber, G.: Development of fungi and decomposition of propionic acid in moistened grain corn. Zbl. Mikrobiol. 137, 1982: 214-217
- [MÜLLER, 1983] Müller, H.-M.: Detoxification of mycotoxins, 2. Chemical methods and reaction with constituents of feeds. Übers. Tierernährung 11, 1983 (1): 47-80
- [MÜLLER et al., 1984] Müller, H. M.; Pfizenmaier, P.; Kändler, U.: Zur quantitativen Bestimmung des Pilzwachstums in Futtermitteln. Landwirtschaftliche Forschung 37, 1984 (2): 166-174
- [MÜLLER et al., 1985] Müller, H.-M.; Pfizenmaier, P.; Burgert, P.: Einfluß der Propionsäuredosierung auf die Entwicklung von Pilzen und den Propionsäureabbau in einem Mischfutter. Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde. 53, 1985: 193-199
- [MÜLLER und SCHWADORF, 1988] Müller, H.M.; Schwadorf, K.: Ergosterin - ein Parameter zur quantitativen Bestimmung des Pilzbesatzes von Futtermitteln. Kraftfutter 71, 1988 (5): 174-178
- [MÜLLER und LEHN, 1988] Müller, H.M.; Lehn, Ch.: Ergosterin als Maß für das Pilzwachstum in Futtermitteln. 1.Mitteilung: Ergosteringehalt von Getreide. Arch. Anim. Nutr. 38, 1988 (3): 227-240
- [MÜLLER und SCHWADORF, 1990] Müller, H.M.; Schwadorf, K.: Ergosterin als Maß für das Pilzwachstum in Futtermitteln. 2.Mitteilung: Ergosteringehalt von Mischfutterkomponenten und Mischfuttern. Arch. Anim. Nutr. 40, 1990 (4): 385-395
- [MÜLLER et al., 1994] Müller, H.M.; Metzger, K.-U.; Modi, R.; Reimann, J.: Ergosterin und Fusariumtoxine in Weizenkleie und Weizen. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 71, 1994: 48-55
- [MÜLLER und AMEND, 1997] Müller, H.M.; Amend, R.: Formation and disappearance of Mycophenolic acid, Patulin, Penicillic acid and PR Toxin in maize silage inoculated with *Penicillium roqueforti*. Arch. Anim. Nutr. 50, 1997: 213-225
- [MÜLLER, 1969] Müller, M.: Beitrag zu verfahrenstechnischen Grundlagen der Silagebereitung, Habilitationsschrift, Rostock, 1969
- [MÜLLER und BREUNIG, 1981] Müller, M.; Breunig, W.: Verfahren der Bereitung von Grünfuttersilagen. Markkleeberg, 1981 (1/2)
- [MÜLLER et al., 1987] Müller, T.; Lepom, P.; Knabe, O.: Der kombinierte Einsatz biologischer Testmethoden zum Nachweis von Trichothecen in Grobfutterstoffen. Mh. Vet.-Med. 42, 1987: 219-221
- [MÜLLER et al., 1991] Müller, T.; Fehrmann, E.; Seyfarth, W.; Knabe, O.: Einfluß des mikrobiellen Epiphytenbesatzes von Futtergräsern auf die Qualität der Silagen. Das Wirtschaftseigene Futter 37, 1991 (1/2): 41-54
- [NAEWBANIJ et al., 1984] Naewbanij, M.; Seib, A.; Burroughs, R.; Seitz, L.M.; Chung, D.S.: Determination of ergosterol using thin layer chromatography and ultraviolet spectroscopy. Cereal Chem. 61, 1984: 385-388
- [NAEWBANIJ et al., 1986] Naewbanij, M.; Seib, A.; Utung, D.S.; Seitz, L.M.; Devoe, C.W.: Ergosterol versus dry matter loss as quality indicator for high-moisture rough-rice during holding. Cereal Chem. 63, 1986 (4): 315-320
- [NEHRING, 1969] Nehring, K.: Die Bestimmung der Rohzellulose in Futterstoffen. Arch. Tierernährung 19, 1969 (6)
- [NEITZ, 1993] Neitz, B.: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Luzernesilierung in folienumwickelten Rundgroßballen unter Einbeziehung der Applikation biologischer Silierzusätze. Dissertation, Universität Halle, 1995
- [NICHOLSON et al., 1991] Nicholson, J.W.G.; McQueen, R.E.; Charmley, E.; Bush, R.S.: Forage conservation in round bales or silage bags: effect on ensiling characteristics and animal performance. Can. J. Anim. Sci. 71, 1991: 1167-1180
- [NIESSEN und VOGEL, 1995] Niessen, L.; Vogel, R.F.: Einsatz der PCR für den Nachweis toxinbildender Schimmelpilze - aufgezeigt am Beispiel von *Fusarium graminearum*. Proceedings, 17. Mykotoxin-Workshop 1995, Braunschweig-Völkenrode (FAL), 1995: 70-71
- [NILSSON und NILSSON, 1956] Nilsson, G.; Nilsson, P.E.: The Microflora on the Surface of Some Fodder Plants at Different Stages of Maturity. Archiv Mikrobiologie 24, 1956: 423-436

- [N.N., 1991] N.N.: Untersuchung von Lebensmitteln – Nachweis und Bestimmung von *Listeria monocytogenes* in Lebensmitteln. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG, 1991
- [N.N., 1992] N.N.: Stretchfolie AGRI-STRETCH. DLG, Fachbereich Landtechnik, Prüfungsabteilung, Frankfurt/M. DLG-Prüfbericht 4137, 1992
- [N.N., 1993] N.N.: Landschaftspflege in der Nuthe-Nieplitz-Niederung, Projektbericht 1992. Landschafts-Förderverein Nuthe-Nieplitz-Niederung e.V, D-14547 Stücken, 1993 (1)
- [N.N., 1996] N.N.: persönliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Tierzucht Grub, SG 4, 1996
- [NORREGAARD et al., 1984] Norregaard, P.; Holm, H.; Emborg, C.: Organic Acids and Penicillin Production. Appl. Microbiol. Biotechnol. 20, 1984: 221-224
- [NORTHOLT et al., 1977] Northolt, M.D.; Van Egmond, H.P.; Paulsch, W.E.: Differences between *Aspergillus flavus* strains in growth and aflatoxin B₁ production in relation to water activity and temperature. J. Food Prot. 40, 1977: 778-781
- [NORTHOLT et al., 1978] Northolt, M.D.; Van Egmond, H.P.; Paulsch, W.E.: Patulin production by some fungal species in relation to water activity and temperature. J. Food Prot. 41, 1978: 885-890
- [NORTHOLT et al., 1979a] Northolt, M.D.; Van Egmond, H.P.; Paulsch, W.E.: Penicillic acid production by some fungal species in relation to water activity and temperature. J. Food Prot. 42, 1979: 476-484
- [NORTHOLT et al., 1979b] Northolt, M.D.; Van Egmond, H.P.; Paulsch, W.E.: Ochratoxin A production by some fungal species in relation to water activity and temperature. J. Food Prot. 42, 1979, 485-490
- [NOUT et al., 1993] Nout, M.J.R.; Bouwmeester, H.M.; Haaksma, J.; van Dijk, H.: Fungal growth in silages of sugarbeet press pulp and maize. J. Agric. Sc. Cambridge 121, 1993: 323-326
- [NOUT, 1995] Nout, M.J.R.: Fungal interactions in food fermentations. Can. J. Bot. 73, 1995 (1): 1291-1300
- [OHMOMO, 1982] Ohmomo, S.: Indole alkaloids produced by *Penicillium roqueforti*. J. Antibact. Antifung. Agents 10, 1982: 253-264
- [OHMOMO et al., 1994] Ohmomo, S.; Kuze Kitamoto, K.; Nakajima, T.: Detection of roquefortines in *Penicillium roqueforti* isolated from moulded maize silage. Journal Science Food Agriculture 64, 1994: 211-215
- [OLDENBURG und BREVES, 1989] Oldenburg, E.; Breves, G.: Aspekte der Mykotoxinproblematik in der landwirtschaftlichen Produktion. Landbauforschung Völkenrode 39, 1989 (1): 40-47
- [OLDENBURG, 1990] Oldenburg, E.: Massnahmen zur Verringerung des Risikos von Pilzbefall und Mykotoxinkontamination an wachsenden Pflanzen. IFF-Symposium: „Unerwünschte Stoffe in Futtermitteln, Mykotoxine in Getreide und Futtermitteln, Maßnahmen zur Beseitigung“ 30./31. Oktober 1990, BFAL, Braunschweig-Völkenrode, 1990: 89-110
- [OLDENBURG, 1991] Oldenburg, E.: Mycotoxins in conserved forage. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 123, 1991: 191-205
- [OLDENBURG, 1993] Oldenburg, E.: Endophytische Pilze in Futtergräsern. Proceedings, 15. Mykotoxin-Workshop 1993, Jena, 1993
- [OLDENBURG, 1995] Oldenburg, E.: Vorkommen des Alkaloids Lolitrem B in Futtergräsern. Proceedings, 17. Mykotoxin-Workshop 1995, Braunschweig-Völkenrode (FAL), 1995: 92-95
- [OLDENBURG et al., 1997] Oldenburg, E.; Weissbach, F.; Valenta, H.; Höltershinken, M.; Rattay, D.: Einfluss von endophytinfiziertem und alkaloidhaltigem Deutschen Weidelgras auf die Gewichtsentwicklung und Gesundheit von Schafen. Proceedings, 19. Mykotoxin-Workshop 1997, München, 1997: 172-176
- [OMINSKI et al., 1994] Ominski, K.H.; Marquardt, R.R.; Sinha, R.N.; Abramson, D.: Ecological Aspects of Growth and Mycotoxin Production by Storage Fungi. In: Mycotoxins in grains. (Ed.) Miller, J.D.; Trenholm, H.L., St.Paul, Minn., 1994: 287-312
- [OPITZ V. BOBERFELD, 1994] Opitz von Boberfeld, W.: Grünlandlehre, Biologische und ökologische Grundlagen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1994: 256-290
- [OPITZ V. BOBERFELD, 1995] Opitz von Boberfeld, W.: „Wie Grünland künftig bewirtschaftet wird“. DLG-Mitteilungen, 1995 (5): 34-37

- [ORTH, 1976a] Orth, R.: PR-Toxinbildung bei *Penicillium roqueforti*-Stämmen. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 160, 1976: 131-136
- [ORTH, 1976b] Orth, R.: Wachstum und Toxinbildung von Patulin- und Sterigmatocystin-bildenden Schimmelpilzen unter kontrollierter Atmosphäre. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 160, 1976: 359-366
- [ORVEHED et al., 1988] Orvehed, M.; Häggblom, P.; Söderhäll, K.: Nitrogen Inhibition of Mycotoxin Production by *Alternaria alternata*. Appl. Environ. Microbiol. 54, 1988 (10): 2361-2364
- [OTTO et al., 1993] Otto, F.; Hochberg, H.; Bugdol, G.; Kluge, H.: Inhaltsstoffe und deren Verdaulichkeit von Aufwüchsen auf extensiv bewirtschafteten Grünlandstandorten unter besonderer Berücksichtigung später Schnittermine. Zeitschrift Agrarbiologie, Agrikulturchemie, Ökologie 46, 1993 (3): 200-207
- [PAHLOW, 1982] Pahlow, G.: Verbesserung der aeroben Stabilität von Silage durch Impfpräparate. Das Wirtschaftseigene Futter 28, 1982: 107-122
- [PAHLOW und HONIG, 1986] Pahlow, G.; Honig, H.: Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silageimpfkulturen aus Milchsäurebakterien, 1.Mitteilung, Das Wirtschaftseigene Futter 32, 1986: 20-35
- [PAHLOW und MÜLLER, 1990] Pahlow, G.; Müller, T.: Determination of epiphytic micro-organisms on grass as influenced by harvesting and sample preparation. Proc. Ninth Silage Conference, Newcastle upon Tyne, 3.-5. Sept. 1990, 1990: 23-24
- [PAHLOW, 1991] Pahlow, G.: Role of microflora in forage conservation. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 123, 1991: 26-36
- [PANASENKO, 1967] Panasenko, V.T.: Ecology of Microfungi. Bot. Rev. 33, 1967: 189-215
- [PARK und BULLERMAN, 1981] Park, K.Y.; Bullerman, L.B.: Increased Aflatoxin Production by *Aspergillus parasiticus* under Conditions of Cycling Temperatures. J. Food Sci. 46, 1981: 1147-1151
- [PARK und BULLERMAN, 1983] Park, K.Y.; Bullerman, L.B.: Effect of Cycling Temperatures on Aflatoxin Production by *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus* in Rice and Cheddar Cheese. J. Food Sci. 48, 1983: 889-896
- [PARK, 1995] Park, D.L.: Surveillance programmes for managing risks from naturally occurring toxicants. Food Additives and Contaminants 12, 1995 (3): 361-371
- [PASTER et al., 1983] Paster, N.; Lisker, N.; Chet, I.: Ochratoxin A Production by *Aspergillus ochraceus* Wilhelm Grown Under Controlled Atmospheres. Appl. Environ. Microbiol. 45, 1983: 1136-1139
- [PASTER und BULLERMAN, 1988] Paster, N.; Bullerman, L.B.: Mould spoilage and mycotoxin formation in grains as controlled by physical means. Int. J. Food Microbiol. 7, 1988: 257-265
- [PASTER et al., 1992] Paster, N.; Pushinsky, A.; Menasherov, M.; Chet, I.: Inhibitory effect of *Aspergillus niger* on the growth of *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus flavus* and on aflatoxin formation. J. Sci. Food Agric. 58, 1992: 589-591
- [PASTER et al., 1993] Paster, N.; Droby, S.; Chalutz, E.; Menasherov, M.; Nitzan, R.; Wilson, C.L.: Evaluation of the potential of the yeast *Pichia guilliermondii* as a biocontrol agent against *Aspergillus flavus* and fungi of stored soya beans. Mycol. Res. 97, 1993: 1201-1206
- [PELHATE, 1975] Pelhate, J.: Mycoflore des maïs fourrages ensiles. Revue de Mycologie 39, 1975 (2): 65-95
- [PELHATE, 1977] Pelhate, J.: Maize silage: Incidence of moulds during conservation. Folia Vet. Lat. 7, 1977: 1-16
- [PETTERSSON, 1988] Pettersson, K.: Factors affecting silage fermentation and quality, Ensiling of forages. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. f. Mikrobiol 179, 1988: 1-46
- [PETTERSSON und LINDGREN, 1990] Pettersson, K.; Lindgren, S.: The influence of the carbohydrate fraction and additives on silage quality. Grass Forage Sci. 45, 1990: 223-233
- [PETTERSSON und SCHNÜRER, 1995] Pettersson, S.; Schnürer, J.: Biocontrol of Mold Growth in High-Moisture Wheat Stored under Airtight Conditions by *Pichia anomala*, *Pichia guilliermondii*, and *Saccharomyces cerevisiae*. Appl. Environ. Microbiol. 61, 1995 (3): 1027-1032
- [PITT und HOCKING, 1985] Pitt, J.I.; Hocking, A.D.: Fungi and Food Spoilage. Academic Press, New York, 1985

- [PITT, 1991] Pitt, J.I.: A Laboratory Guide to Common *Penicillium* Species. CSIRO Food Research Laboratory, 1991
- [PITT et al., 1991] Pitt, R.E.; Liu, Y.; Muck, R.E.: Simulation of the effect of additives on aerobic stability of alfalfa and corn silages. Transactions ASAE 34, 1991: 1633-1641
- [PITT, 1994] Pitt, J.I.: *Penicillium*. In: Hui, Y.H., et al. (Ed.): Foodborne Disease Handbook, Vol.2, Diseases caused by viruses, parasites and fungi. Marcel Dekker, 1994: 617-630
- [PITTET, 1998] Pittet, A.: Natural occurrence of mycotoxins in foods and feeds - an updated review. Revue Med. Vet. 149, 1998 (6): 479-492
- [POHLAND und WOOD, 1991] Pohland, A.E.; Wood, G.E.: Natural occurrence of mycotoxins. In: Bray, G.A.; Ryan, D.H. (Ed.): Mycotoxins, cancer and health, 1991: 32-52
- [POLONELLI et al., 1978] Polonelli, L.; Morace, F.D.; Monache, F.D.; Samson, R.A.: Studies on the PR-Toxin of *Penicillium roqueforti*. Mycopathologia 66, 1978: 99-104
- [PONCELET, 1993] Poncelet, J.L.: Silage and diseases of sheep and goats. Bulletin des G.T.V. 3, 1993: 55-68
- [POLONSKY et al., 1977] Polonsky, J.; Merrien, M.A.; Scott, P.M.: Roquefortine and isofumigaclavine A, alkaloids from *Penicillium roqueforti*. Ann. Nutr. Aliment 31, 1977: 693-698
- [PRESTIDGE, 1993] Prestidge, R.A.: Causes and control of perennial ryegrass staggers in New Zealand. Agric. Ecosystems Environ. 44, 1993: 283-300
- [PROCHNOW, 1994] Prochnow, A.: Verfahrenstechnische Grundlagen für die Landschaftspflege am Beispiel der Nütze-Nieplitz-Niederung. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 1994
- [PULS und LADYMAN, 1988] Puls, R.; Ladyman, E.: Roquefortine toxicity in a dog. Can. Vet. J. 29, 1988: 569
- [RAPER und THOM, 1949] Raper, K.B.; Thom, C.: A manual of the *Penicillia*. Bailliere, Tindall & Cox, London, 1949
- [RADE et al., 1996] Rade, C.; Schuberth, H.-J.; Leibold, W.; Kamphues, J.: Immunologische Reaktionen junger Haflinger auf eine forcierte Belastung (oral/per inhalationem) mit Schimmelpilzen und Milben. Pferdeheilkunde 12, 1996 (3): 333-337
- [RAMAKRISHNA et al., 1993] Ramakrishna, N.; Lacey, J.; Smith, J.E.: Effects of water activity and temperature on the growth of fungi interacting on barley grain. Mycol. Res. 97, 1993 (11): 1393-1402
- [RANDBY, 1996] Randby, A.T.: Moulding and aerobic stability of round-bale grass silage treated with formic or propionic acid. Proc. 11th Int. Silage Conf., Aberystwyth, Sep. 8th-11th 1996. 1996: 108-109
- [RASK-ANDERSEN und MALMBERG, 1990] Rask-Andersen, A.; Malmberg, P.: Organic dust toxic syndrome in Swedish farmers: Symptoms, clinical findings, and exposure in 98 cases. Am. J. Ind. Med. 17, 1990: 116-117
- [RAY und DAESCHEL, 1992] Ray, B.; Daeschel, M.: Food biopreservatives of microbial origin. CRC Press, London, 1992
- [REIß, 1986] Reiß, J.: Schimmelpilze - Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 1986
- [RETTIG, 1972] Rettig, H.: Untersuchung des physikalischen Gasaustausches an Konservierungsbehältern. Dissertation, AdL der DDR, 1972
- [RETTIG und KLICH, 1986] Rettig, H.; Klich, W.: Untersuchungen zur Gasdichtheit von Konservierungsbehältern und Zudeckmaterialien sowie zu Diffusionseigenschaften von Gärfutter. Autorenkollektiv - Schlieben/Bornim, Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen- und Tierproduktion 3, 1986 (10): 110-117 ISSN 0233-0652
- [REUTTER, 1990] Reutter, M.: Aflatoxin B1 in Milchviehfutter - Aflatoxin M1 in Milch: Zur Problematik der Einhaltung und analytischen Kontrolle niedriger Grenzwerte in Milch. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongr.bd., Berlin 32, 1990: 475-480
- [RICE, 1980] Rice, S.L.: Patulin Production by *Byssoschlamys* spp. in Canned Apple Juice. J. Food Sci. 45, 1980: 485-488
- [RICHARD et al., 1993] Richard, J.L.; Bennett, G.A.; Ross, P.F.; Nelson, P.E.: Analysis of Naturally Occurring Mycotoxins in Feedstuffs and Food. J. Anim. Sci. 71, 1993: 2563-2574

- [RICHARDSON und LOGENDRA, 1997] Richardson, M.D.; Logendra, S.: Ergosterol as an Indicator of Endophyte Biomass in Grass Seeds. J. Agric. Food Chem. 45, 1997: 3903-3907
- [RICHTER, 1993] Richter, W.I.F.: Neuere Untersuchungen zu unerwünschten Stoffen in Silagen. 34. Tagung des DLG-Ausschuß für Futterkonservierung vom 22.-23. März in Posieux (Schweiz), EFA Grangeneuve, 1993
- [ROSENBERGER, 1970] Rosenberger, G.: Krankheiten des Rindes. Paul Parey Berlin / Hamburg, 1970
- [ROTH et al., 1990] Roth, L.; Frank, H.; Kormann, K.: Giftpilze, Pilzgifte: Schimmelpilze, Mykotoxine; Vorkommen, Inhaltsstoffe, Pilzallergien, Nahrungsmittelvergiftungen. Landsberg am Lech: ecomed, 1990: 291-299
- [RUSUL, et al., 1987] Rusul, G.; El-Gazzar, F.E.; Marth, E.H.: Growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* NRRL 2999 in the presence of acetic or propionic acid and at different initial pH values. J. Food Prot. 50, 1987: 909-914
- [RUXTON und GIBSON, 1994] Ruxton, G.D.; Gibson, G.J.: Effect on Deterioration of Spraying the Open Face of a Silage Bunker with Propionic Acid. J. agric. Engng. Res. 58, 1994: 159-168
- [RUXTON und GIBSON, 1995] Ruxton, G.D.; Gibson, G.J.: A mathematical model of the aerobic deterioration of big-bale silage and its implications for the growth of *Listeria monocytogenes*. Grass Forage Sci. 50, 1995: 331-344
- [RYSER et al., 1997] Ryser, E.T.; Arimi, S.M.; Donnelly, C.W.: Effects of pH on Distribution of *Listeria* Ribotypes in Corn, Hay, and Grass Silage. Appl. Environ. Microbiol. 63, 1997 (9): 3695-3697
- [SAMSON et al., 1995] Samson, R.A.; Hoekstra, E.; Frisvad, J.C.; Filtenborg, O.: Introduction to food-borne fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, 1995
- [SARAF et al., 1997] Saraf, A.; Larsson, L.; Burge, H.; Milton, D.: Quantification of Ergosterol and 3-Hydroxy fatty Acids in Settled House Dust by Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Comparison with Fungal Culture and Determination of Endotoxin by a *Limulus* Amebocyte Ly-sate Assay. Appl. Environ. Microbiol. 63, 1997 (7): 2554-2559
- [SASHIDHAR RAO et al., 1989] Sashidhar Rao, B.; Rao, V.S.; Ramakrishna, Y.; Bhat, R.V.: Rapid and specific method for screening ergosterol as an index of fungal contamination in cereal grains. Food Chem. 31, 1989: 51-56
- [SCHACHTA und JORDE, 1989] Schachta, M.; Jorde, W.: Allergische Erkrankungen durch Schimmelpilze. Dusti-Verlag Dr. Karl Feistle, München-Deisenhofen, 1989
- [SCHMERBAUCH et al., 1997a] Schmerbauch, K.-J.; Füll, Ch.; Kaiser, E.: Grassilagebereitung mit einem hochverdichtenden Preßverfahren. Landtechnik 52, 1997 (1): 16-17
- [SCHMERBAUCH et al., 1997b] Schmerbauch, K.-J.; Füll, Ch.; Kaiser, E.; Schuster, M.: Grassilagebereitung mit einem hochverdichtenden Preßverfahren. Agrartechn. Forschung 3, 1997 (2): 135-140
- [SCHMIDT, 1981] Schmidt, H.L.: Mikrobiologische Aspekte der Futtermittelbewertung. Landwirt. Forschung 38, 1981 (2): 95-104
- [SCHNEIDER, 1994] Schneider, G.: Entwicklung und Erprobung kostengünstiger Konservierungsverfahren für Feuchtgetreide. Dissertation, Universität Hohenheim, 1994
- [SCHNEWEIS et al., 1998] Schneweis, I.; Hörmannsdorfer, S.; Bauer, J.: Stoffwechselprodukte von *Monascus ruber* in Silagen. Proceedings, 20. Mykotoxin-Workshop 1998, Detmold, 1998
- [SCHNÜRER und JONSSON, 1992] Schnürer, J.; Jonsson, A.: Ergosterol levels and mould colony forming units in Swedish grains of food and feed grade. Acta Agric. Scand., Sect. B, 1992: 240-245
- [SCHOCH et al., 1984] Schoch, U.; Lüthy, J.; Schlatter, C.: Subchronische Toxizitätsprüfung von schimmelgereiften Käsen. Z. Lebensm. Unters.-Forsch. 179, 1984: 99-103
- [SCHRICKER et al., 1993] Schricker, M.; Binder, S.; Bauer, J.: Zum Vorkommen und zur Stabilität von PR-Toxin in Silagen. Proceedings, 15. Mykotoxin-Workshop 1993, Jena, 1993
- [SCHRÖPPEL, 1981] Schröppel, E.: Einfluß von Außenfaktoren auf die Mykotoxinbildung durch *Aspergillus flavus* in synthetischem Substrat und in Körnermais Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim, 1981

- [SCHUH und BAUMGARTNER, 1988] Schuh, M.; Baumgartner, W.: Mikrobiologisch und mykotoxikologisch kontaminierte Futtermittel als Krankheitsursache bei Rindern. Wien. tierärztl. Mschr. 75, 1988 (9): 329-332
- [SCHWADORF und MÜLLER, 1989] Schwadorf, K.; Müller, H.-M.: Determination of Ergosterol in Cereals, Mixed Feed Components, and Mixed feeds by Liquid Chromatography. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 72, 1989 (3): 457-462
- [SCHWADORF, 1995] Schwadorf, K.: Pilzbesatz und Mykotoxine in Futtermitteln. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim, 1995
- [SCOTT et al., 1976] Scott, P.M.; Merrien, M.-A.; Polonsky, J.: Roquefortine and isofumigaclavin A, metabolites from *Penicillium roqueforti*. Experientia 31, 1976: 140-142
- [SCOTT, 1977] Scott, P.M.: Penicillium Mycotoxins. In: Wyllie, T.D; Moorhouse, L.E. (Ed.): Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicosis. Vol. 1: Mycotoxic Fungi and Chemistry of Mycotoxins. Marcel Dekker New York-Basel, 1977: 282-324
- [SCOTT, 1981] Scott, P.M.: Toxins of *Penicillium* species used in cheese manufacture. J. Food Prot. 44, 1981 (9): 702-710
- [SCOTT, 1989] Scott, P.M.: Mycotoxigenic fungi contaminants of cheese and other dairy products. In: Van Egmond, H.P. (Ed.): Mycotoxins in dairy products. Elsevier Applied Science New York, 1989: 193-259
- [SCOTT, 1993] Scott, P.M.: Recent developments in methods of analysis for mycotoxins in foodstuffs. Trends in analytical chemistry 12, 1993 (9): 373-381
- [SCOTT, 1995] Scott, P.M.: Mycotoxin methodology. Food Additives and Contaminants 12, 1995 (3): 395-403
- [SCOTT, 1998] Scott, P.M.: Industrial and farm detoxification processes for mycotoxins. Revue Med. Vet. 149, 1998 (6): 543-548
- [SCUDAMORE und HETMANSKI, 1995] Scudamore, K.A.; Hetmanski, M.T.: Natural occurrence of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in cereals in the United Kingdom. Food Additives and Contaminants 12, 1995 (3): 377-382
- [SCUDAMORE et al., 1997] Scudamore, K.A.; Hetmanski, M.T., Chan, H.K.; Collins, S.: Occurrence of mycotoxins in raw ingredients used for animal feeding stuffs in the United Kingdom in 1992. Food Additives and Contaminants 14, 1997 (2): 157-173
- [SCUDAMORE und LIVESEY, 1998] Scudamore, K.A.; Livesey, C.T.: Occurrence and Significance of Mycotoxins in Forage Crops and Silage: a Review. J. Sci. Food Agric. 77, 1998: 1-17
- [SEITZ et al., 1977] Seitz, L.M.; Mohr, H.E.; Burroughs, R.; Sauer, D.B.: Ergosterol as an indicator of fungal invasion in grains. Cereal Chem. 54, 1977 (6): 1207-1217
- [SEITZ et al., 1979] Seitz, L.M.; Sauer, D.B.; Burroughs, R.; Mohr, H.E.; Hubbard, J.D.: Ergosterol as a measure of fungal growth. Phytopathol. 69, 1979: 1202-1203
- [SHAPIRA et al., 1996] Shapira, R.; Paster, N.; Eyal, O.; Menasherov, M.; Mett, A.; Salomon, R.: Detection of Aflatoxigenic Molds in Grains by PCR. Appl. Environ. Microbiol. 62, 1996 (9): 3270-3273
- [SHARMA und SALUNKHE, 1991] Sharma, R.P.; Salunkhe, K.: Mycotoxins and phytoalexins. CRC Press Inc., Florida, 1991
- [SHIH und MARTH, 1973] Shih, C.N.; Marth, E.H.: Aflatoxin produced by *Aspergillus parasiticus* when incubated in the presence of different gases. J. Milk Food Technol. 36, 1973: 421-425
- [SIEBER, 1978] Sieber, R.: Zur Frage der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von in der Käsefabrikation verwendeten Schimmelpilzkulturen. Zeit. Ernährungswiss. 17, 1978 (2): 112-123
- [SMITH und MOSS, 1985] Smith, J.E.; Moss, M.O.: Mycotoxins: formation, analysis and significance. John Wiley & Sons, Chichester, 1985
- [SMITH, 1987] Smith, R.: Roquefortine in dead dogs. Vet. Hum. Toxicol. 29, 1987: 322
- [SOLLEY und HYATT, 1980] Solley, G.O.; Hyatt, R.E.: Hypersensitivity pneumonitis induced by *Penicillium* species. J. Allergy Clin. Immunol. 65, 1980: 65-70
- [SPICHER und WESTENHOFF, 1985] Spicher, G.; Westenhoff, M.: Die Erreger der Schimmelbildung bei Backwaren. 5.Mitt.: Das Verhalten einiger "Brotschimmel" der Gattung *Penicillium* gegenüber Konservierungsstoffen. Getreide, Mehl und Brot 39, 1985 (1): 23-26

- [SPOELSTRA, 1983] Spoelstra, S.F.: Inhibition of clostridial growth by nitrate during the early phase of silage fermentation. J. Sci. Food Agric. 34, 1983: 145-152
- [SPOELSTRA und HINDLE, 1989] Spoelstra, S.F.; Hindle, V.A.: Influence of wilting on chemical and microbial parameters of grass relevant to ensiling. Netherlands J. Agric. Sci. 37, 1989: 355-364
- [STEWART, 1980] Stewart, D.J.: Energy crops to methane. In: Stafford; Wheatley; Hughes: Anaerobic digestion. Applied Science London, 1980
- [SUNDBERG und THYLÉN, 1993] Sundberg, M.; Thylén, A.: Weather induced gas-flows into and out of wrapped silage bales. Proceedings. 10th Intern. Conf. Silage Res., Dublin, Sept. 6th-8th 1993, 1993: 36-37
- [SUZUKI et al., 1991] Suzuki, I.; Nomura, M.; Morichi, T.: Isolation of lactic acid bacteria which suppress mold growth and show antifungal action. Milchwissenschaft 46, 1991 (10): 635-639
- [TANAKA et al., 1990] Tanaka, D.F.; Yamamoto, A.; Hosegawa, N.; Aoki, N.; Belsing, J.R.; Sigiura, Y.; Ueno, Y.: A survey of natural occurrence of Fusarium mycotoxins Deoxynivalenol, Nivalenol and Zearalenone in cereals harvested in The Netherlands. Mycopathologia 110, 1990: 19-22
- [TANTAOUI-ELARAKI et al., 1984] Tantaoui-Elaraki, A.; Khabbazi, N.: Contamination eventuelle des fromages par les mycotoxines: une revue. Le Lait 64, 1984: 46-71
- [TAUCHMANN et al., 1972] Tauchmann, F.; Mintzloff, H.-J.; Leistner, L.: Schutzmassnahmen beim Arbeiten mit Mykotoxinen. Alimenta 3, 1972: 85-89
- [THALMANN, 1989] Thalmann, A.: Bedingungen für die Bildung von Mykotoxinen in Futtermitteln. Dtsch. tierärztl. Wschr. 96, 1989 (7): 341-343
- [THALMANN, 1990] Thalmann, A.: Mykotoxine in Getreide. Angew. Botanik 64, 1990: 167-173
- [TÜLLER et al., 1995] Tüller, G.; Hertkorn, N.; Richter, W.; Bauer, J.: *Aspergillus fumigatus* in Mais-silage: Bildung von Verruculogen und Fumitremorgen B. Proceedings, 17. Mykotoxin-Workshop 1995, Braunschweig-Völkenrode (FAL), 1995: 124-127
- [TÜLLER et al., 1998] Tüller, G.; Armbruster, G.; Wiedenmann, S.; Hänichen, T.; Schams, D.; Bauer, J.: Occurrence of roquefortine in silage - toxicological relevance to sheep. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 80, 1998: 246-249
- [UPPENKAMP, 1994] Uppenkamp, N.: Anwelksilage - ein Vergleich. AID e.V. Bonn, 1994 (1284)
- [VANDENPUT et al., 1997] Vandenput, S.; Istasse, L.; Nicks, B.; Lekeux, P.: Airborne dust and aeroallergen concentrations in different sources of feed and bedding for horses. Vet. Quart. 19, 1997 (4): 154-158
- [VAN EGMOND, 1995] Van Egmond, H.P.: Mycotoxins: regulations, quality assurance and reference materials. Food Additives Contamin. 12, 1995 (3): 321-330
- [VESELY et al., 1981] Vesely, D.; Vesela, D.; Adamkova, A.: Nález plísně *Penicillium roqueforti* produkující PR-Toxin v kukuricných silazích. Vet. Med. (Prague) 26, 1981: 109-115
- [VDLUFA, 1993] Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch VDLUFA-Verlag Darmstadt, 1993 (3)
- [VIVIER et al., 1992] Vivier, D.; Rivemale, M.; Reverbel, J.P.; Ratomahenina, R.; Galzy, P.: Some observations on the physiology of *Penicillium roqueforti* Thom and *Penicillium cyclopium* Westling. Le Lait 72, 1992: 277-283
- [VON ESSEN et al., 1990] Von Essen, S.; Robbins, R.A.; Thompson, A.B.; Rennard, S.I.: Organic dust toxic syndrome: an acute febrile reaction to organic dust exposure distinct from hypersensitivity pneumonitis. Clin. Toxicol. 28, 1990: 389-420
- [VON LENGERKEN und ZIMMERMANN, 1991] Von Lengerken, J.; Zimmermann, K.: Handbuch Futtermittelkunde, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1991
- [WAGENER et al., 1980] Wagener, R.E.; Davis, N.D.; Diener, U.L.: Penitrem A and roquefortine production by *Penicillium commune*. Appl. Environ. Microbiol. 39, 1980: 882-887
- [WALDMANN, 1995] Waldmann, K.-H.: Ursachen prä- und perinataler Ferkelverluste. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 102, 1995 (1): 27-31
- [WARE et al., 1980] Ware, G.M.; Thorpe, C.W.; Pohland, A.E.: Determination of roquefortine in blue cheese and blue cheese dressing by high pressure liquid chromatography with ultraviolet and electrochemical detectors. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 63, 1980: 637-641

- [WEBLEY et al., 1997] Webley, D.J.; Jackson, K.L.; Mullins, J.D.: Mycotoxins in food: a review of recent analyses. Food Australia 49, 1997 (8): 375-379
- [WEETE, 1980] Weete, J.D.: Lipid biochemistry of fungi and other organisms. Plenum Press, New York, 1980
- [WEI et al., 1973] Wei, R.D.; Still, P.E.; Smalley, E.B.; Schnoes, H.K.; Strong, F.M.: Isolation and partial characterization of a mycotoxin from *Penicillium roqueforti*. Appl. Microbiol. 25, 1973 (1): 111-114
- [WEIDENBÖRNER und KUNZ, 1994] Weidenbörner, M.; Kunz, B.: Schimmelpilze als Kontaminanten von Lebensmitteln. Bioscope 5, 1994: 27-33
- [WEISE und WERMKE, 1973] Weise, F.; Wermke, M.: Einfluß der Witterung auf den epiphytischen Keimbesatz von Wiesenrispe (*Poa pratensis* L.). Das Wirtschaftseigene Futter 19, 1973: 290-299
- [WEISE et al., 1975] Weise, G.; Rettig, H.; Suckow, G.: Untersuchungen zur Quantifizierung des Lufteinflusses bei der Silierung. Arch. Tierernährung 25, 1975 (1): 69-82
- [WEISE, 1978] Weise, G.: Der Lufteinfluß bei der Grünfuttersilierung, Untersuchungen zu Ursache, Wirkung und Unterbindung. Dissertation B, AdL der DDR, Berlin, 1978
- [WEISE und RAMBUSCH, 1988] Weise, G.; Rambusch, H.: Produktionsüberwachung und Qualitätssicherung. Normative Silokartei, Silierkatalog, AdL der DDR, 1988
- [WEISSBACH et al., 1974] Weissbach, F.; Schmidt, L.; Hein, E.: Method of anticipation of the run of fermentation in silage making, based on chemical composition of green fodder. Proc. XII. Int. Grassl. Congr. Moskau 1974, Sect. 6., 1974: 663-673
- [WEISSBACH und BERG, 1977] Weissbach, F.; Berg K.: Untersuchungen zur vollständigen Erfassung des Trockensubstanzgehaltes von Silagen. 2.Mitteilung: Methoden zur Bestimmung und Korrektur des Trockensubstanzgehaltes. Arch. Tierernährung 27, 1977: 69-84
- [WEISSBACH, 1993] Weissbach, F.: Grünfutter und Grünfutterkonservate. In: Jeroch, H.; Flachowsky, G.; Weissbach, F. (Ed.): Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart, 1993: 74-154
- [WEISSBACH et al., 1993] Weissbach, F.; Honig, H.; Kaiser, E.: The effect of nitrate on the silage fermentation. Proc. 10th Int. Conf. on Silage Research, Dublin 1993, 1993: 122-123
- [WEISSBACH und HONIG, 1992] Weissbach, F.; Honig, H.: Ein neuer Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Silagen auf Basis der chemischen Analyse. 104. VDLUFA-Kongress, Gießen, Kongreßband, 1992: 489-494
- [WEISSBACH und HONIG, 1997] Weissbach, F.; Honig, H.: Vorschlag für einen neuen Schlüssel zur Bewertung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf Basis der chemischen Untersuchung. 38. Interne Sitzung des DLG-Ausschusses für Futterkonservierung am 02.07.1997 in Gumpenstein, 1997
- [WEISSBACH und HONIG, 1996] Weissbach, F.; Honig, H.: Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfutter aus extensivem Anbau. Landbauforschung Völkenrode 46, 1996: 10-17
- [WEISSBACH, 1998] Weissbach, F.: Untersuchungen über die Beeinflussung des Gärungsverlaufes bei der Bereitung von Silage durch Wiesenkräuter verschiedener Spezies im Aufwuchs extensiv genutzter Wiesen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 185, 1998
- [WELCHMANN et al., 1997] Welchmann, D.deB.; Hooton, J.K.; Low, J.C.: Ocular disease associated with silage feeding and *Listeria monocytogenes* in fallow deer. Vet. Rec. 140, 1997: 684-685
- [WESCHE, 1992] Wesche, H.: Compactrollen-Verdichtung. Landtechnik 47, 1992 (1/2): 64-67
- [WHITTENBURY et al., 1967] Whittenbury, R.; McDonald, P.; Bryan-Jones, D.G.: A short review of some biochemical and microbiological aspects of ensilage. Sci. Food Agric. 18, 1967: 441-444
- [WIERINGA, 1966] Wieringa, G.W.: The influence of nitrate on silage fermentation. Proc. X. Int. Grassland Congr. Helsinki 1966, Sect. 2; 1966: 191-194
- [WILLIAMS, 1994] Williams, A.G.: The Permeability and Porosity of Grass Silage as Affected by Dry Matter. J. Agric. Engng. Res. 59, 1994: 133-140
- [WISEMAN und MARTH, 1981] Wiseman, D.W.; Marth, E.H.: Growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* when in the presence of *Streptococcus lactis*. Mycopathologia 73, 1981: 49-56

- [WITTENBERG et al., 1991] Wittenberg, K.M.; Moshtaghi-Nia, S.A.: Influence of anhydrous ammonia and bacterial preparations on alfalfa forage baled at various moisture levels. II. Fungal invasion during storage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 34, 1991: 67-74
- [WOLFF, 1995] Wolff, J.: Zum Vorkommen von Mykotoxinen in Getreide. *Getreide, Mehl und Brot* 49, 1995 (3): 139-147
- [WOLTHUSEN et al., 1989] Wolthusen, E.; Weissbach, F.; Derno, M.: Fermentation acid content and aerobic stability of silages. *Proc. Int. Symp. on Production, Evaluation and Feeding of Silage*, Rostock, 1989: 123-130
- [WOOD, 1989] Wood, G.: Aflatoxin in domestic and imported foods and feeds. *J. Ass. Off. analyt. Chem.* 72, 1989: 543-548
- [WOODS et al., 1993] Woods, P.S.A.; Robinson, N.E.; Swanson, M.C.; Reed, C.E.; Broadstone, R.V.; Derksen, F.J.: Airborne dust and aeroallergen concentration in a horse stable under two different management systems. *Equine Vet. J.* 25, 1993 (3): 208-213
- [WOOLFORD, 1984] Woolford, M.K.: *The silage fermentation*. Marcel Dekker New York-Basel, 1984
- [WOOLFORD, 1990] Woolford, M.K.: The detrimental effects of air on silage. *J. Appl. Bact.* 68, 1990: 101-116
- [WYSS et al., 1991a] Wyss, U.; Honig, H.; Pahlow, G.: The influence of three different round balers on gas production and fermentation pattern of big bale silage. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 123, 1991: 380-383
- [WYSS et al., 1991b] Wyss, U.; Honig, H.; Pahlow, G.: Einfluß von Luftstreß und die Wirkung von spezifischen Zusätzen auf die aerobe Stabilität von Grasanwelksilagen. *Das Wirtschaftseigene Futter* 37, 1991: 129-141
- [WYSS und JANS, 1993] Wyss, U.; Jans, F.: A comparison of big bale silages and silages from tower silos; silage quality, losses, dry matter intake and performance of dairy cows. *Proc. 10th Int. Conf. on Silage Research*, Dublin 1993, 1993: 200-201
- [YAMAGUCHI et al., 1991] Yamaguchi, T.; Nozawa, K.; Nakajima, S.; Kawai, K.; Udagawa, S.: Absolute configuration of roquefortine C, a tremorgenic mycotoxin. *Proc. Jpn. Assoc. Mycotoxicol.* 34, 1991: 29-32
- [YATES et al., 1967] Yates, A.R.; Seaman, A.; Woodbine, M.: Growth of *Byssoschlamys nivea* in Various Carbon Dioxide Atmospheres. *Can. J. Microbiol.* 13, 1967: 1120-1123
- [ZEITLER, 1986] Zeitler, M.H.: Staub-, Keim- und Schadgasgehalt in der Pferdestallluft, unter besonderer Berücksichtigung der FLH (Farmer's lung hay)-Antigene. *Tierärztl. Umschau* 41, 1986 (11): 839-845
- [ZILAKOVA et al., 1993] Zilakova, J.; Knotek, S.; Gonda, L.; Kunsy, M.: Quality and digestibility of nutrients in the wilted legume/grass stand harvested by the system of big bales. *Proc. 6th Symp. Forage Conserv.*, Pohorelice, Sept. 27th-29th 1993, 1993: 145-149
- [ZILL, 1988] Zill, G.T.: Mikrobielle Bildung des Mykotoxins Zearalenon und dessen Metabolismus in Getreide - Zellkulturen Dissertation, Universität Bayreuth, 1988
- [ZILL et al., 1988] Zill, G.; Engelhardt, G.; Wallnöfer, P.R.: Determination of ergosterol as a measure of fungal growth using Si 60 HPLC. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 187, 1988: 246-249
- [ZIMMER, 1987] Zimmer, E.: Futterwerbung und Futterkonservierung. In: Voigtländer, G.; Jacob, H.: *Grünlandwirtschaft und Futterbau* Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 1987
- [ZIMMER, 1990] Zimmer, E.: Grünlandbewirtschaftung. In: *Extensive Grünlandbewirtschaftung durch Tierhaltung*. KTBL-Arbeitspapier 140, Darmstadt, 1990: 7-21

Anhang

	Seite
Verzeichnis der Tabellen im Anhang	A-1
Verzeichnis der Abbildungen im Anhang	A-2
Tabellen	A-3 bis A-5
Abbildungen	A-6 bis A-24

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

	Seite
Tab. A 1: Versuche P 1 bis P 5 - Trockenmasse-Dichte bei den Silageballen	A-3
Tab. A 2: Versuche P 4 und P 5 - durchschnittliche Häcksellängenverteilung bei den Silagen	A-3
Tab. A 3: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen (1992/1997) [WEISSBACH und HONIG, 1992; WEISSBACH und HONIG, 1997].....	A-4

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

	Seite
Abb. A 1: Quantifizierung von Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure mittels Ionenausschluß-Chromatographie - Chromatogramm der Standardsubstanzen (Buttersäure hier: n-Buttersäure)	A-6
Abb. A 2: Quantifizierung von Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure mittels Ionenausschluß-Chromatographie - Chromatogramm einer Grassilageprobe.....	A-7
Abb. A 3: Quantifizierung von Ammoniak als Ammonium-Ion (NH_4^+ -Ion) mittels Ionenaustausch-Chromatographie - Chromatogramm der Standardsubstanz.....	A-8
Abb. A 4: Quantifizierung von Ammoniak als Ammonium-Ion (NH_4^+ -Ion) mittels Ionenaustausch-Chromatographie - Chromatogramm einer Grassilageprobe.....	A-9
Abb. A 5: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm der Standardsubstanz ..	A-10
Abb. A 6: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Grünfütterprobe ..	A-11
Abb. A 7: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Maissilageprobe ..	A-12
Abb. A 8: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Grassilageprobe ..	A-13
Abb. A 9: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Getreideprobe.....	A-14
Abb. A 10: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Getreideprobe (Get. 2) ohne Addition von Ergosterin (natürlicher Gehalt).....	A-15
Abb. A 11: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Getreideprobe (Get.2) mit Addition von 10 mg ERG/kg T	A-16
Abb. A 12: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm der Standard-substanz	A-17
Abb. A 13: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm einer mykotoxin-negativen (< 0,05 mg ROF/kg T) Grassilageprobe	A-18
Abb. A 14: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm einer mykotoxin-positiven ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) Grassilageprobe	A-19
Abb. A 15: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Grassilageprobe (Si. 1) ohne Addition von Roquefortin C.....	A-20
Abb. A 16: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Grassilageprobe (Si. 1) mit Addition von 3,2 mg ROF/kg T	A-21
Abb. A 17: Bestätigung der als Impfkulturen für die Laborsiliverversuche L 4 und L 5 vorge-sehenen <i>Penicillium roqueforti</i> - Isolate Pc.24 und Pc.38 durch die DSMZ	A-22
Abb. A 18: Protokoll der DSMZ über die Identifizierung des <i>Penicillium roqueforti</i> - Isolats Pc.24	A-23
Abb. A 19: Protokoll der DSMZ über die Identifizierung des <i>Penicillium roqueforti</i> - Isolats Pc.38	A-24

Tab. A 1: Versuche P 1 bis P 5 - Trockenmasse-Dichte bei den Silageballen

Trockenmasse-Dichte kg T/m³	Rundballen		Rundballen, mit verbesserter Vor- schneideeinrichtung erzeugt		Compactrollen	
	Anteile in %	n (Σ = 61)	Anteile in %	n (Σ = 30)	Anteile in %	n (Σ = 74)
> 150 – 160	4,9	3	---	---	---	---
> 160 – 170	8,2	5	---	---	---	---
> 170 – 180	21,3	13	---	---	---	---
> 180 – 190	19,7	12	---	---	---	---
> 190 – 200	31,1	19	16,7	5	---	---
> 200 – 210	14,8	9	33,3	10	---	---
> 210 – 220	---	---	20,0	6	---	---
> 220 – 230	---	---	30,0	9	---	---
> 230 – 270	---	---	---	---	---	---
> 270 – 280	---	---	---	---	9,4	7
> 280 – 290	---	---	---	---	16,2	12
> 290 – 300	---	---	---	---	14,9	11
> 300 – 310	---	---	---	---	16,2	12
> 310 – 320	---	---	---	---	14,9	11
> 320 – 330	---	---	---	---	9,4	7
> 330 – 340	---	---	---	---	13,6	10
> 340 – 350	---	---	---	---	5,4	4

Tab. A 2: Versuche P 4 und P 5 - durchschnittliche Häcksellängenverteilung bei den Silagen

Häcksellängen - Bereich mm	Rundballen	Rundballen, mit verbesserter Vor- schneideeinrichtung erzeugt	Compactrollen
	Anteile in % (n = 30)	Anteile in % (n = 30)	Anteile in % (n = 30)
≤ 50	6,1	10,6	3,7
> 50 – 100	9,5	38,4	9,4
> 100 – 200	21,0	24,4	28,9
> 200 – 300	23,6	18,4	17,7
> 300 – 400	18,8	8,2	17,5
> 400 – 500	16,4	---	12,5
> 500	4,6	---	10,3

Tab. A 3: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen (1992/1997)
[WEISSBACH und HONIG, 1992; WEISSBACH und HONIG, 1997]

1. Beurteilung des Buttersäuregehaltes*			2. Beurteilung des Ammoniakgehaltes*	
Gehalt in % der Trockenmasse von ... bis	Punktzahl		NH ₃ -N-Anteil in % von ... bis	Punktzahl
0 ... 0,3	50		... 10	25
> 0,3 ... 0,4	45		> 10 ... 14	20
> 0,4 ... 0,5	40		> 14 ... 18	15
> 0,5 ... 0,7	35		> 18 ... 22	10
> 0,7 ... 1,0	30		> 22 ... 26	5
> 1,0 ... 1,4	25		> 26	0
> 1,4 ... 1,9	20			
> 1,9 ... 2,6	15			
> 2,6 ... 3,6	10			
> 3,6 ... 5,0	5			
> 5,0	0			
* Buttersäuregehalt hier = Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und n-Caprinsäure			* Ammoniak-N in % des Gesamt-N	

3. Beurteilung des pH-Wertes				
Trockenmasse-Gehalt in %				Punktzahl
... 20	> 20 ... 30	> 30 ... 45	> 45	
pH von ... bis				
... 4,1	... 4,3	... 4,5	... 4,7	25
> 4,1 ... 4,3	> 4,3 ... 4,5	> 4,5 ... 4,7	> 4,7 ... 4,9	20
> 4,3 ... 4,5	> 4,5 ... 4,7	> 4,7 ... 4,9	> 4,9 ... 5,1	15
> 4,5 ... 4,6	> 4,7 ... 4,8	> 4,9 ... 5,0	> 5,1 ... 5,2	10
> 4,6 ... 4,7	> 4,8 ... 4,9	> 5,0 ... 5,1	> 5,2 ... 5,3	5
> 4,7 ... 4,8	> 4,9 ... 5,0	> 5,1 ... 5,2	> 5,3 ... 5,4	0
> 4,8 ... 5,0	> 5,0 ... 5,2	> 5,2 ... 5,4	> 5,4 ... 5,6	- 5
> 5,0 ... 5,2	> 5,2 ... 5,4	> 5,4 ... 5,6	> 5,6 ... 5,8	- 10
> 5,2 ... 5,4	> 5,4 ... 5,6	> 5,6 ... 5,8	> 5,8 ... 6,0	- 15
> 5,4 ... 5,6	> 5,6 ... 5,8	> 5,8 ... 6,0	> 6,0 ... 6,2	- 20
> 5,6 ... 5,8	> 5,8 ... 6,0	> 6,0 ... 6,2	> 6,2 ... 6,4	- 25
> 5,8	> 6,0	> 6,2	> 6,4	- 30

Tab. A 3 (Fort.): DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen (1992/1997) [WEISSBACH und HONIG, 1992; WEISSBACH und HONIG, 1997]

4. Beurteilung des Essigsäuregehaltes*

Gehalt in % der Trockenmasse von ... bis	Punktzahl	
	1997	(1992)
... > 8,5	- 30	(- 30)
> 7,5 ... 8,5	- 25	(-25)
> 6,5 ... 7,5	- 20	(-20)
> 5,5 ... 6,5	- 15	(-15)
> 4,5 ... 5,5	- 10	(-10)
> 3,5 ... 4,5	- 5	(-5)
2,0 ... 3,5	0	(0)
< 2,0 ... 1,5	- 5	(0)
< 1,5 ... 1,0	- 10	(0)
< 1,0 ... 0,5	- 15	(0)
... < 0,5	- 20	(0)

* Essigsäuregehalt hier = Essigsäure plus Propionsäure

5. Bewertung

Gesamtpunktzahl (Summe 1 bis 4)	Gärqualität	
	Note	Urteil
91 ... 100	1	sehr gut
71 ... 90	2	gut
51 ... 70	3	mittelmäßig
31 ... 50	4	schlecht
... 30	5	sehr schlecht

6. Im Bedarfsfall sind folgende Bewertungskorrekturen vorzunehmen

Aussehen und Geruch	Punkte
■ Hitzeschädigung eindeutig nachgewiesen (deutlicher Röstgeruch und Verfärbung)	- 20 (Abstufung um eine Note)
■ Schimmelbefall eindeutig nachgewiesen (deutlich muffiger Geruch und / oder einzelne Pilzkolonien sichtbar)	- 30 (bestenfalls Note 3)
■ Starker Schimmelbefall nachgewiesen (bis 10 % der Probe schimmelig) oder deutliche Anzeichen bakterieller Zersetzung (Verrottung)	- 50 (bestenfalls Note 4)
■ Sehr starker Schimmelbefall nachgewiesen (über 10 % der Probe schimmelig) oder weitgehende bakterielle Zersetzung (Verrottung)	fütterungsuntauglich

Standard
Modified.

DIO-4000

1998-04-20
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 20/20

Control:

Standard: External

Sample Type: Integration

Signals: GAERSÄU.SIG

Inject: 20.0 µL

Acquisition: 1998-04-20/22:33

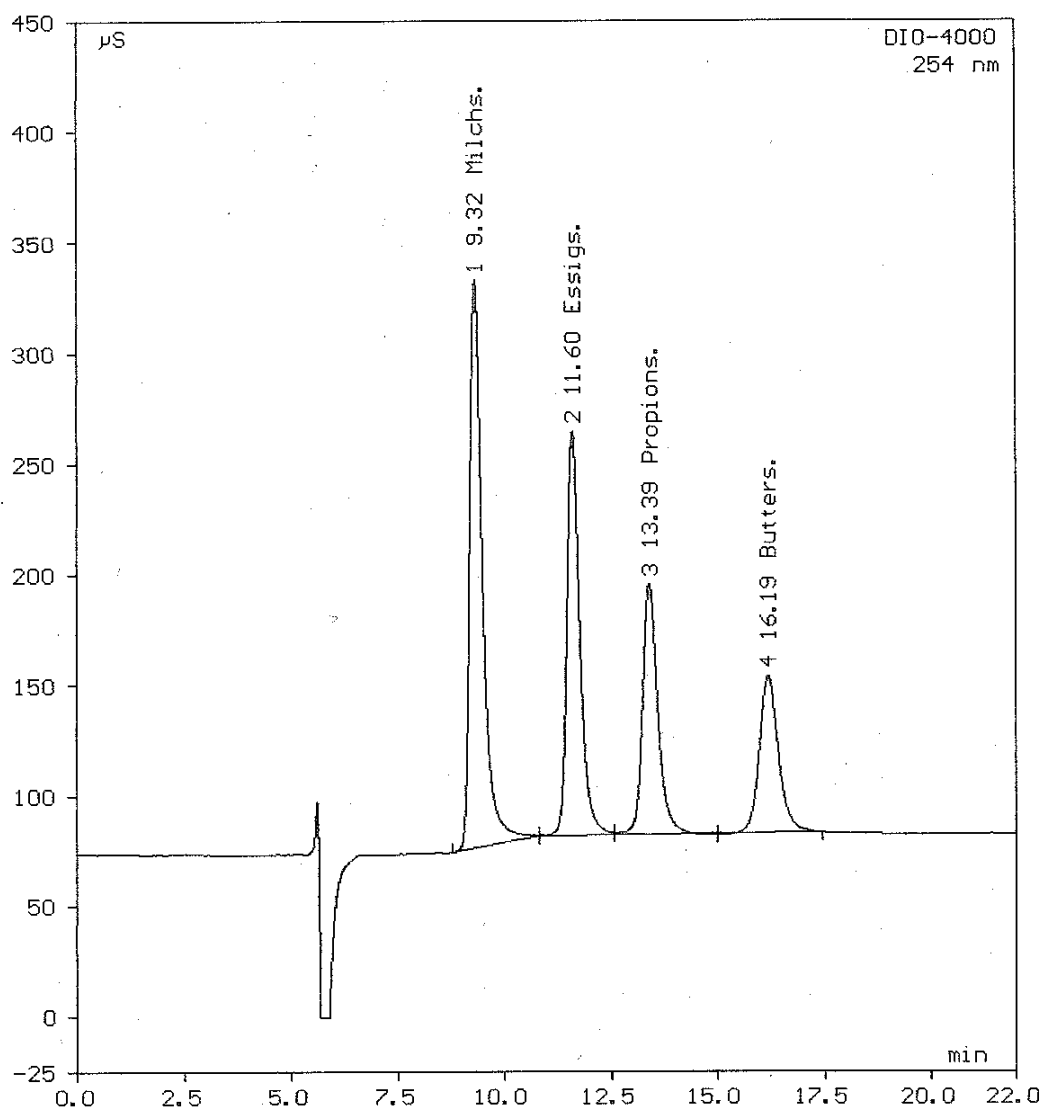
Report:

Dil. Fact.: 10.00000

Method:

P-Table: GÄRSÄU.TAB

Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area µS*min	Height µS	Amount %
1	9.32	Milchs.	BMb	8.906e+1	256.98	29.01
2	11.60	Essigs.	bM	6.409e+1	182.70	13.44
3	13.39	Propions.	M	4.683e+1	115.27	14.09
4	16.19	Butters.	MB	3.674e+1	70.88	13.61
---	-----	Total Sums	---	2.367e+2	623.83	70.15

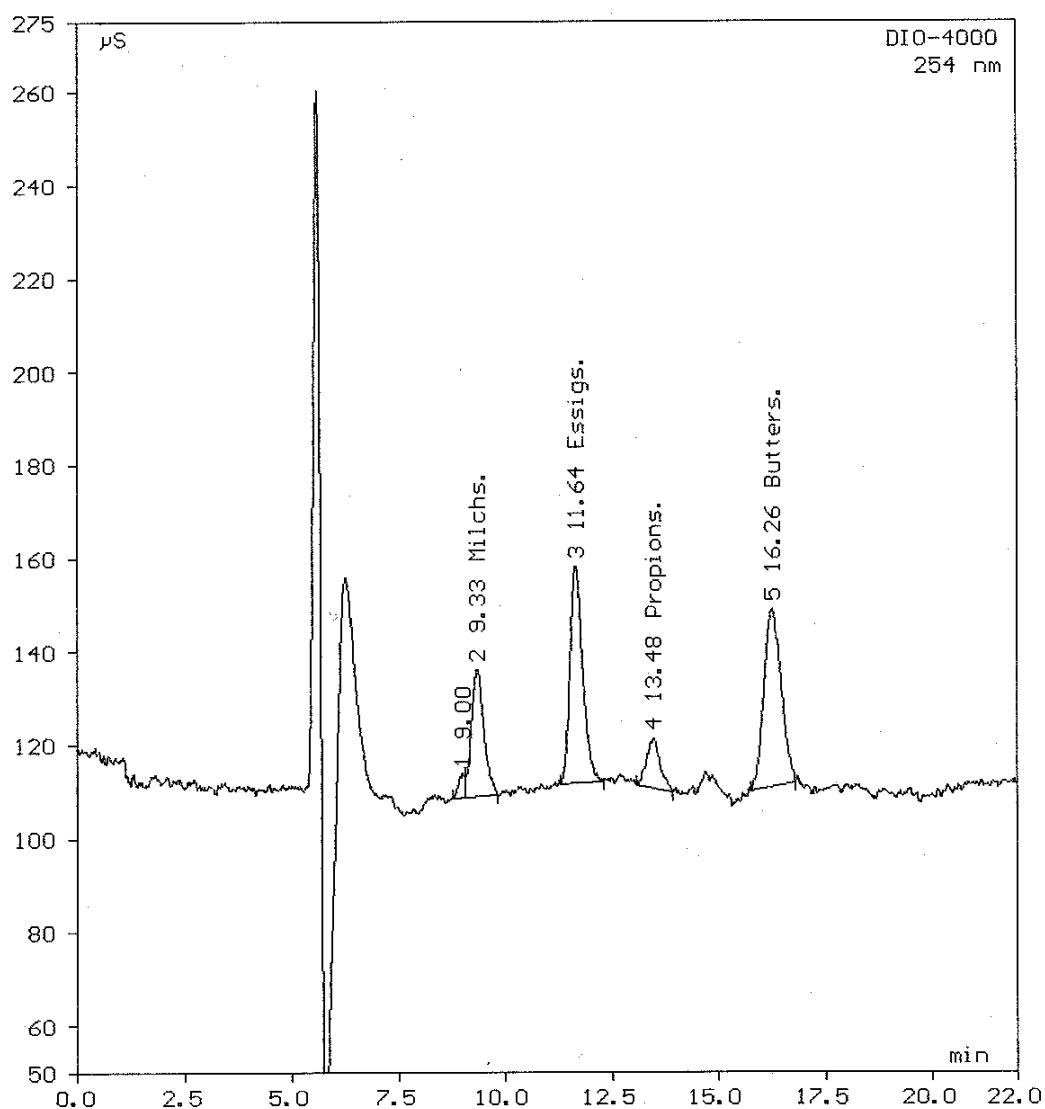
Abb. A 1: Quantifizierung von Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure mittels Ionenausschluß-Chromatographie - Chromatogramm der Standardsubstanzen (Buttersäure hier: n-Buttersäure)

P3-R2-AR
Modified.

DIO-4000

1998-04-20
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 2/2 Control: Standard: External
Sample Type: Integration Signals: GAERSÄU.SIG Inject: 20.0 µL
Acquisition: 1998-04-20/15:00 Report: Dil. Fact.: 10.00000
Method: P-Table: GÄRSÄU.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area µS*min	Height µS	Amount %
2	9.33	Milchs.	MB	9.247e+0	27.07	3.01
3	11.64	Essigs.	BMB	1.588e+1	46.21	3.33
4	13.48	Propions.	BMB	3.915e+0	10.68	1.18
5	16.26	Butters.	BMB	1.777e+1	38.05	6.58
---	-----	Total Sums	---	4.681e+1	122.02	14.10

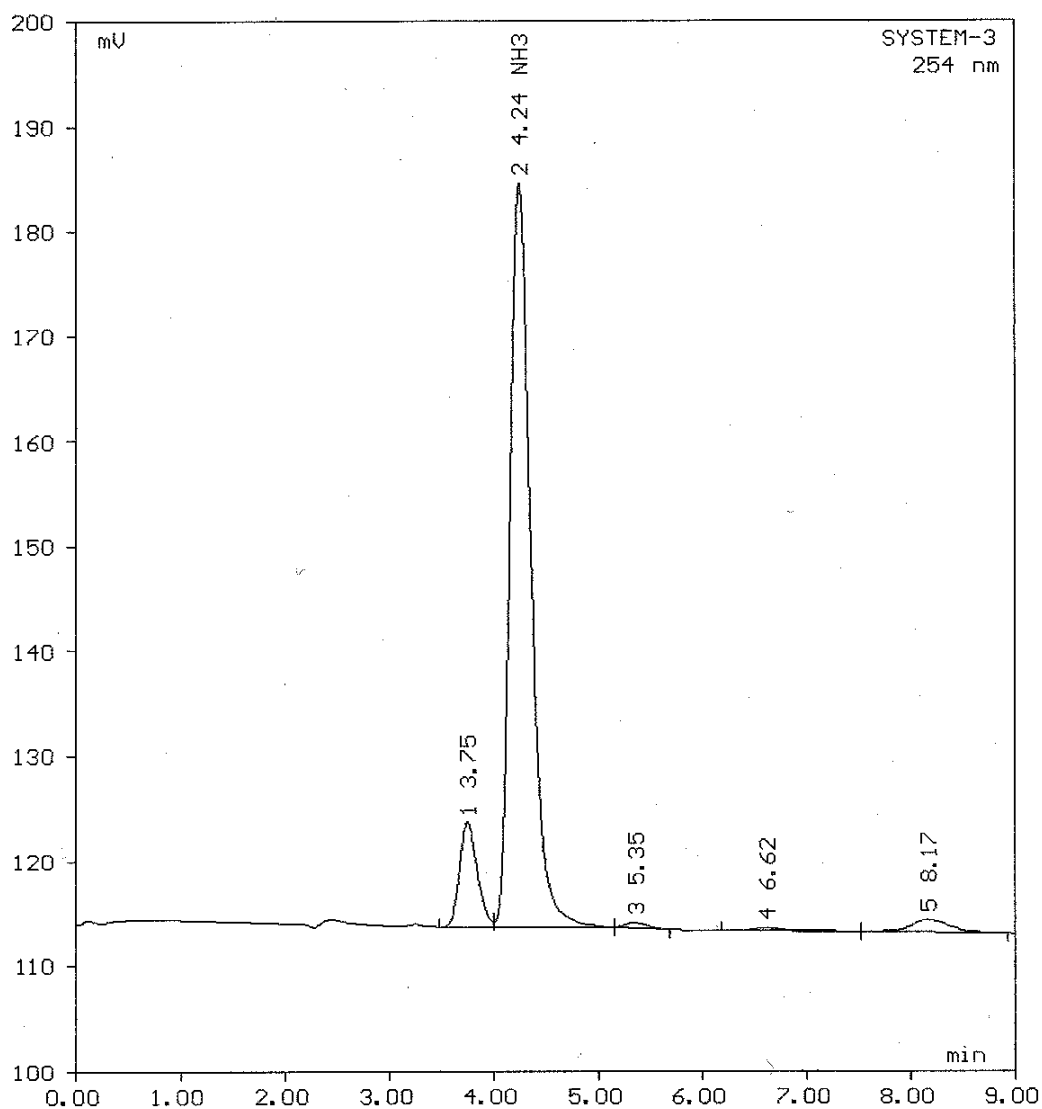
Abb. A 2: Quantifizierung von Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure mittels Ionenausschluß-Chromatographie - Chromatogramm einer Grassilageprobe

Standard

SYSTEM-3

1998-04-14
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 10/10	Control:	Standard: External
Sample Type: Integration	Signals: NH4.SIG	Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1998-04-14/18:1	Report:	Dil. Fact.: 20.00000
Method:	P-Table: NH4.TAB	Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount %
2	4.24	NH3	Mb	1.648e+1	70.96	1.01
---	-----	Total Sums	---	1.648e+1	70.96	1.01

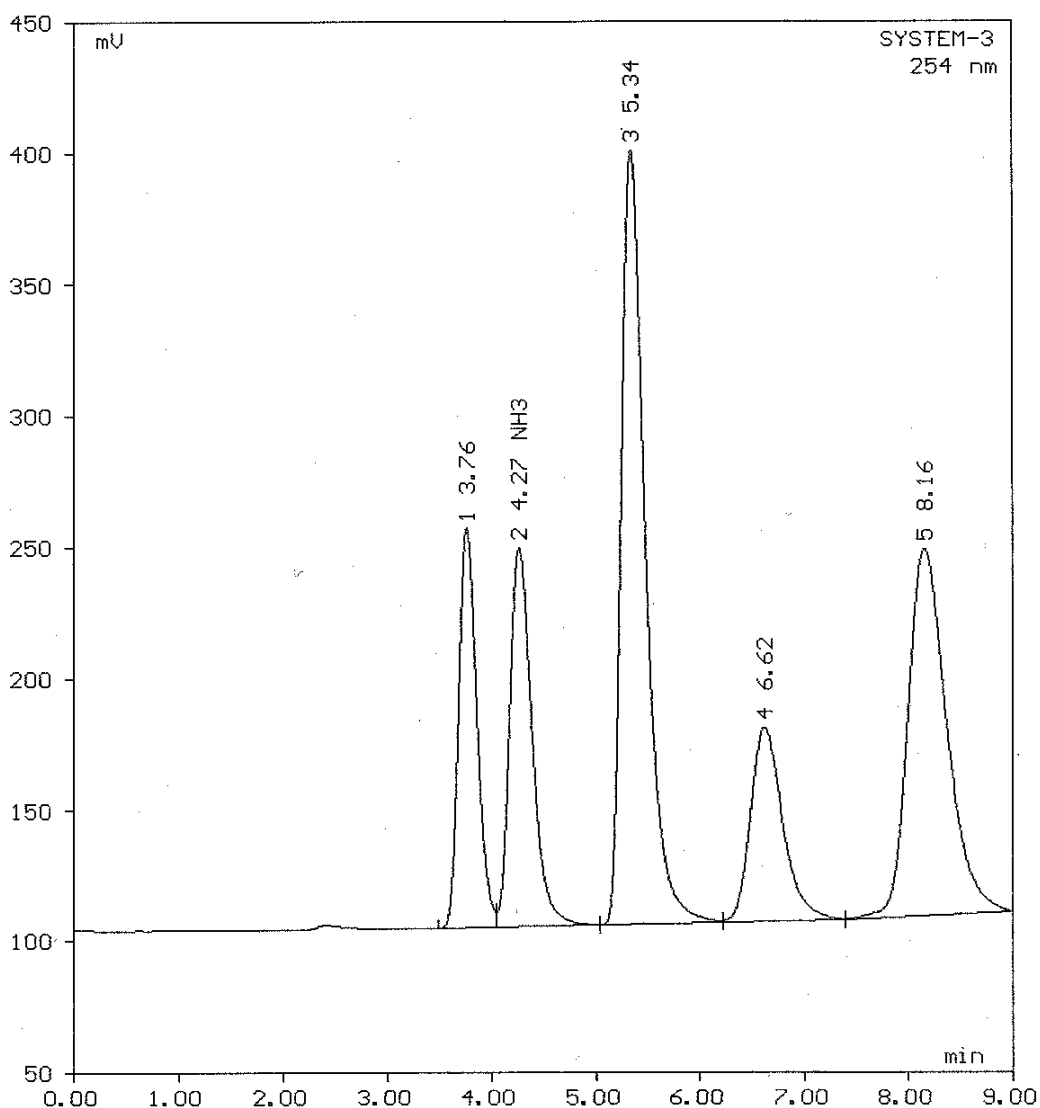
Abb. A 3: Quantifizierung von Ammoniak als Ammonium-Ion (NH_4^+ -Ion) mittels Ionenaustausch-Chromatographie - Chromatogramm der Standardsubstanz

P3-R2-AR

SYSTEM-3

1998-04-14
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 2/2	Control:	Standard: External
Sample Type: Integration	Signals: NH4.SIG	Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1998-04-14/15:5	Report:	Dil. Fact.: 20.00000
Method:	P-Table: NH4.TAB	Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount %
2	4.27	NH3	Mb	3.606e+1	144.44	2.60
---	-----	Total Sums	---	3.606e+1	144.44	2.60

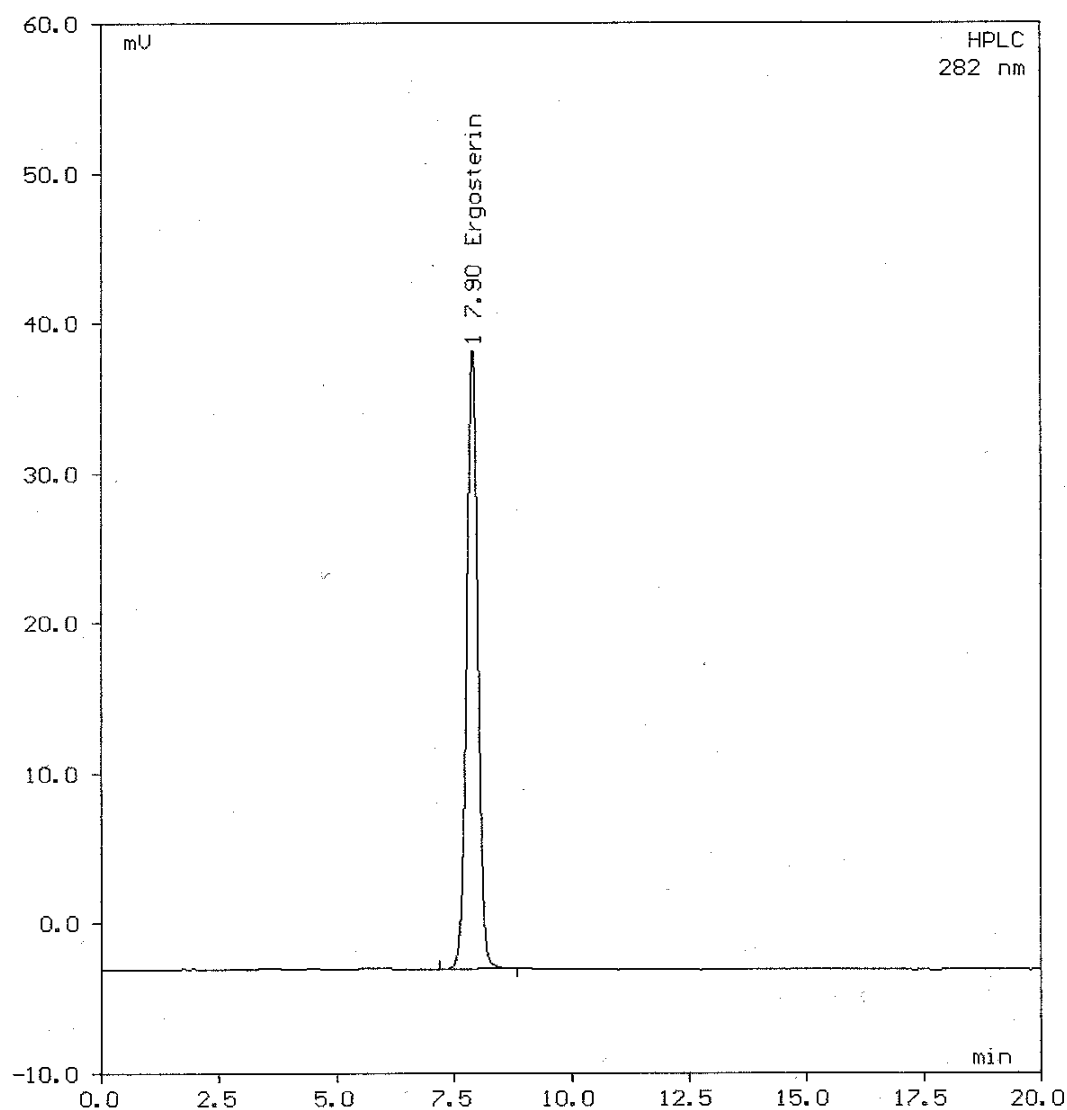
Abb. A 4: Quantifizierung von Ammoniak als Ammonium-Ion (NH_4^+ -Ion) mittels Ionenaustausch-Chromatographie - Chromatogramm einer Grassilageprobe

ERG-Stand. 75,00 ppm

HPLC

1997-01-14
 GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 6/6 Control: Standard: External
 Sample Type: Calib.add.(6) Signals: LC-ERG.SIG Inject: 20.0 uL
 Acquisition: 1997-01-14/14:2 Report: Dil. Fact.: 1.00000
 Method: P-Table: ERGOSTSI.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
1	7.90	Ergosterin	BMB	1.131e+1	41.17	74.51
---	-----	Total Sums	---	1.131e+1	41.17	74.51

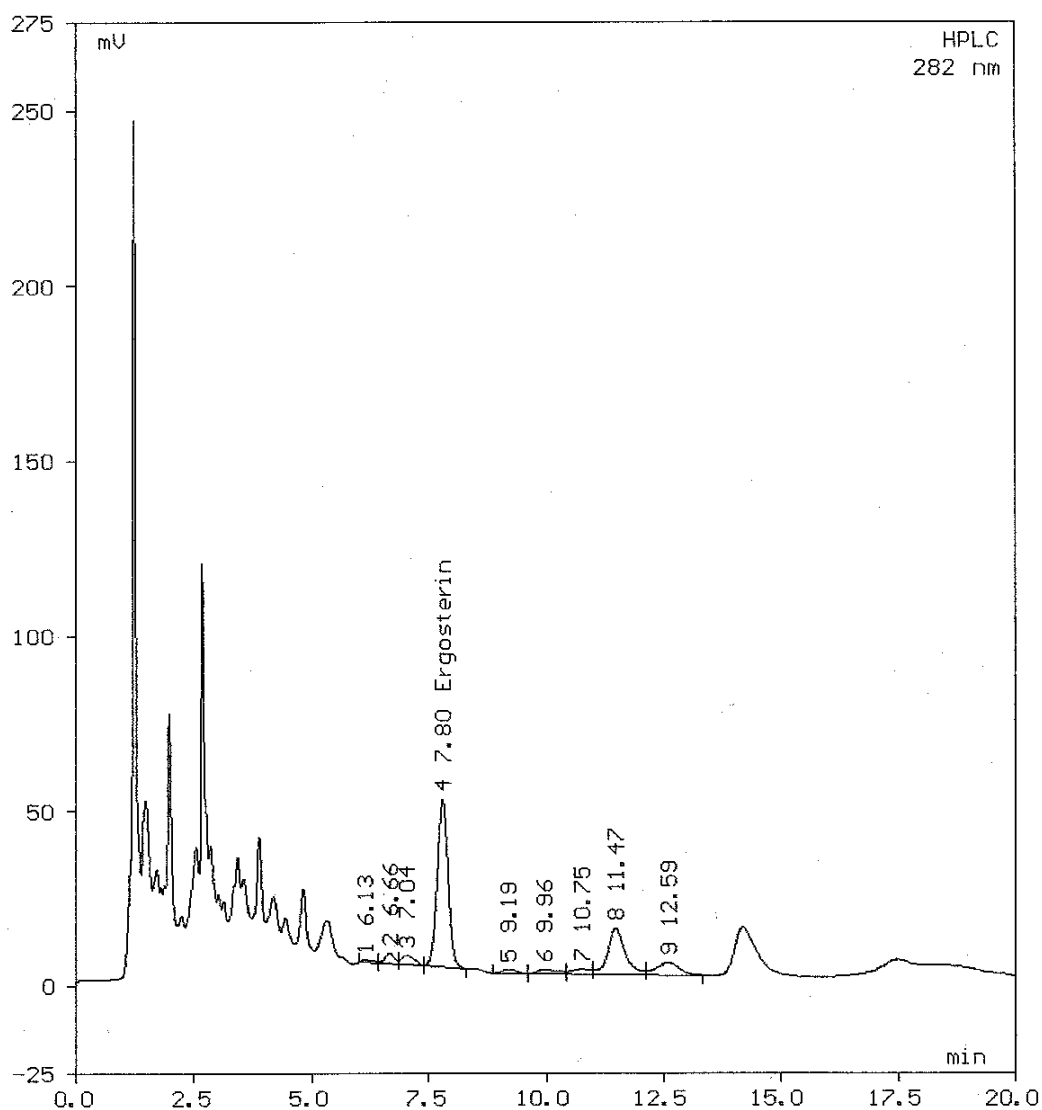
Abb. A 5: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm der Standardsubstanz

Grasprobe 1341

HPLC

1997-01-23
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 88/94 Control: Standard: External
Sample Type: Integration Signals: LC-ERG.SIG Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1997-01-23/18:1 Report: Dil. Fact.: 1.00000
Method: P-Table: ERGOSTSI.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
4	7.80	Ergosterin	BMB	1.272e+1	47.81	86.53
---	-----	Total Sums	---	1.272e+1	47.81	86.53

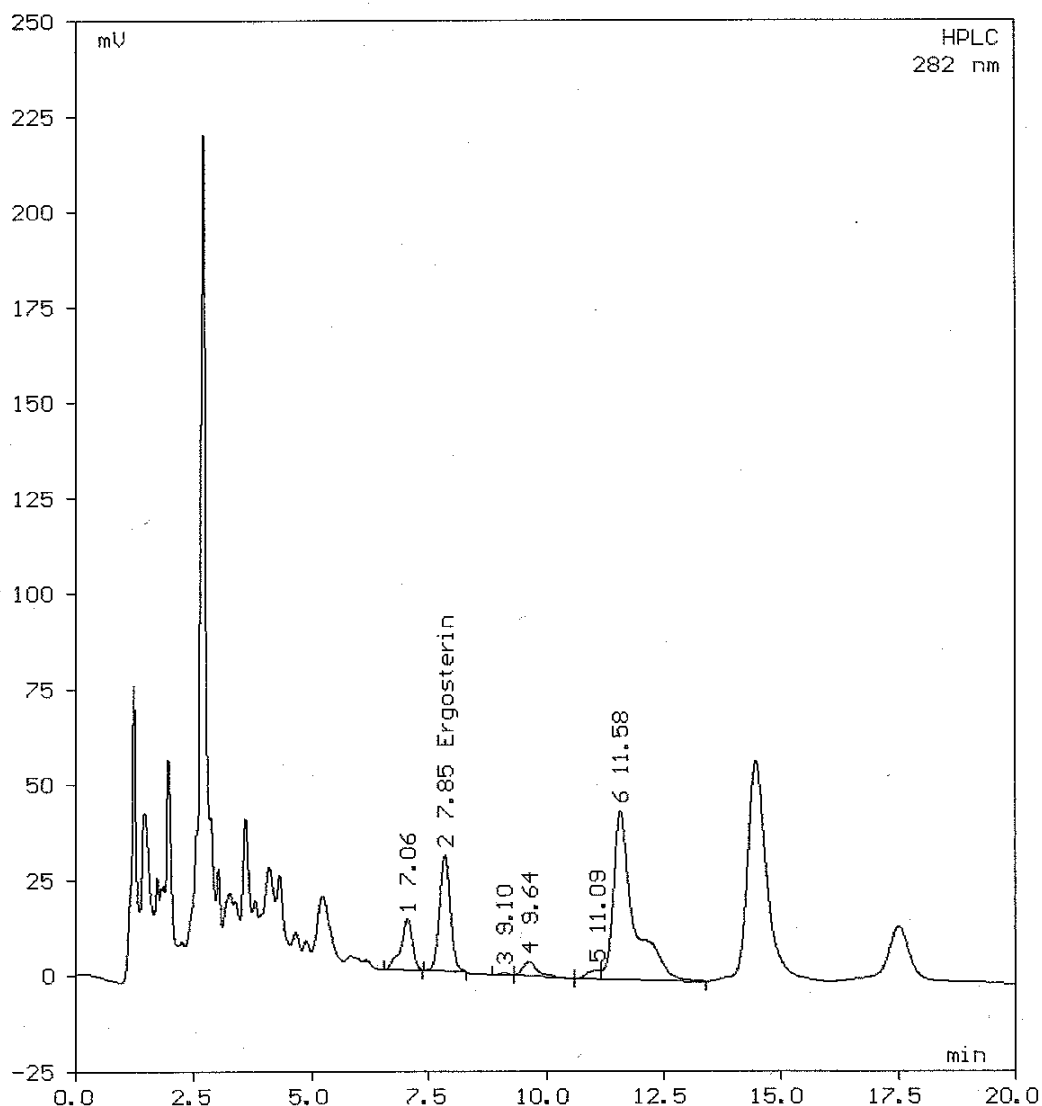
Abb. A 6: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Grünfütterprobe

Silageprobe 17
Modified.

HPLC

1997-01-16
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 35/35	Control:	Standard: External
Sample Type: Integration	Signals: LC-ERG.SIG	Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1997-01-16/18:1	Report:	Dil. Fact.: 1.00000
Method:	P-Table: ERGOSTSI.TAB	Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
2	7.85	Ergosterin	BMB	8.089e+0	30.20	54.66
---	-----	Total Sums	---	8.089e+0	30.20	54.66

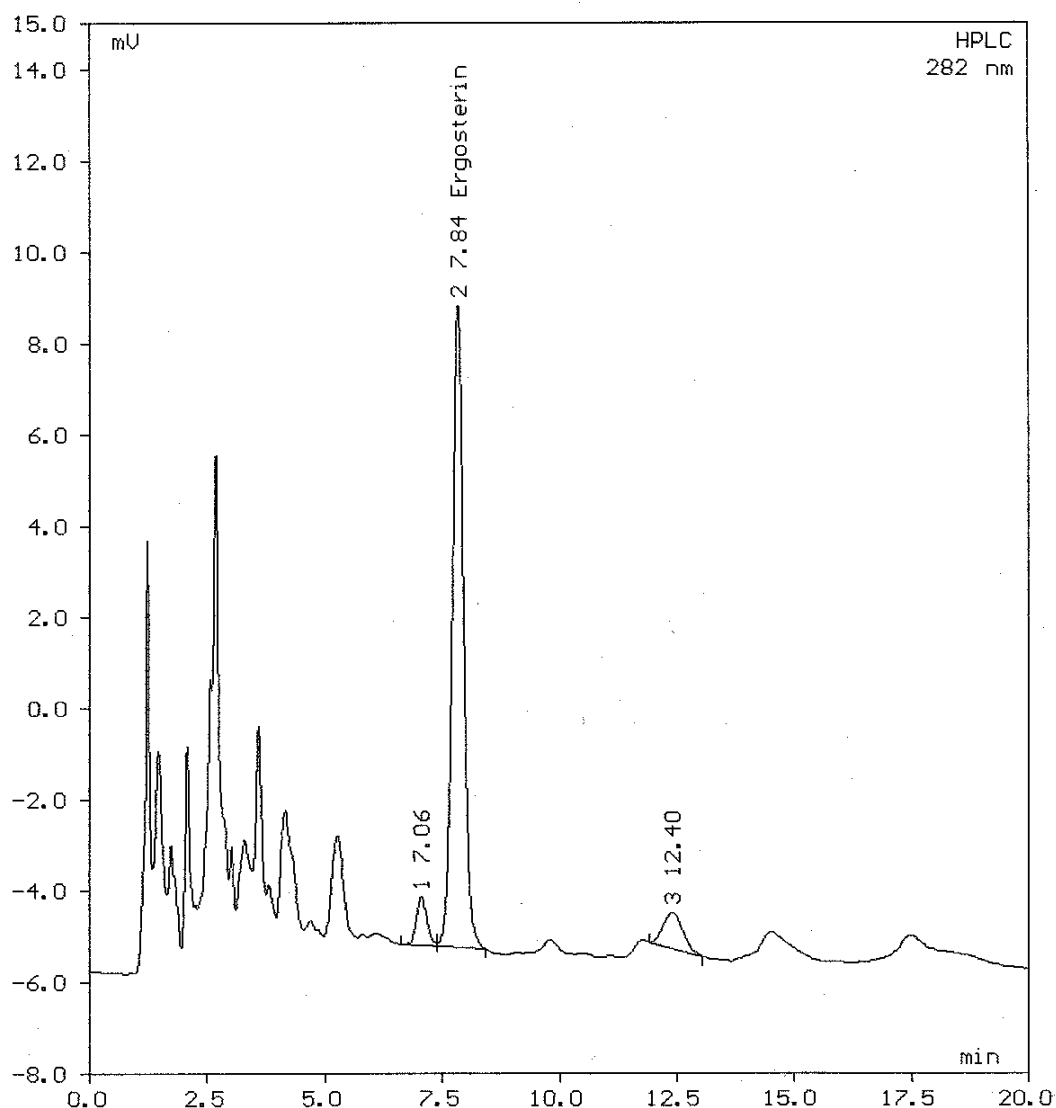
Abb. A 7: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Maissilageprobe

Silageprobe 3
Modified. (1:10 verdünnt)

HPLC

1997-01-16
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 47/47 Control: Standard: External
Sample Type: Integration Signals: LC-ERG.SIG Inject: 20.0 µl
Acquisition: 1997-01-16/23:3 Report: Dil. Fact.: 10.00000
Method: P-Table: ERGOSTSI.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
2	7.84	Ergosterin	MB	3.906e+0	14.07	254.62
---	-----	Total Sums	---	3.906e+0	14.07	254.62

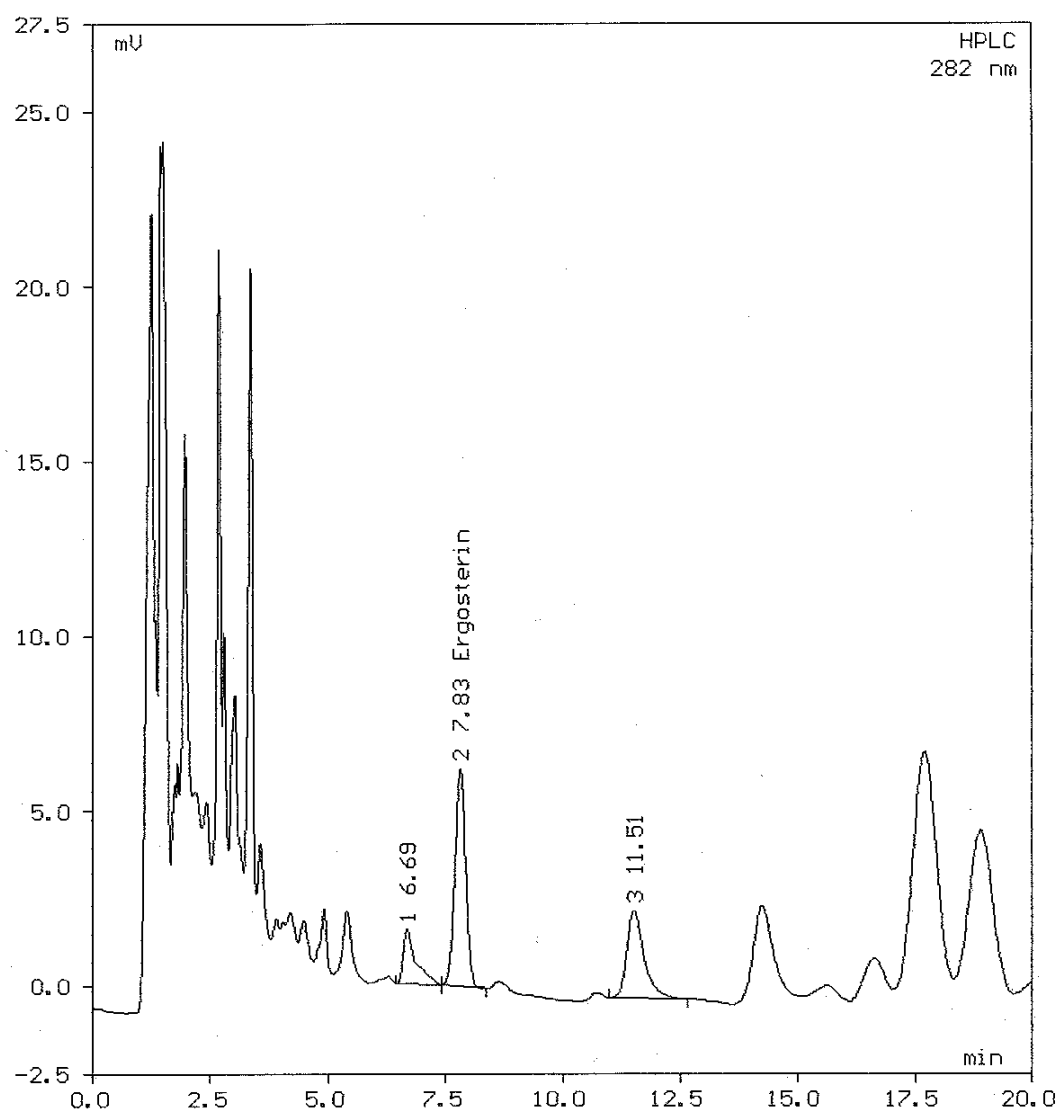
Abb. A 8: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Grassilageprobe

Getreideprobe 1523

HPLC

1997-01-23
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 98/104	Control:	Standard: External
Sample Type: Integration	Signals: LC-ERG.SIG	Inject: 20.0 µl
Acquisition: 1997-01-23/21:4	Report:	Dil. Fact.: 1.00000
Method:	P-Table: ERGOSTSI.TAB	Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
2	7.83	Ergosterin	bMB	1.640e+0	6.20	11.23
---	-----	Total Sums	---	1.640e+0	6.20	11.23

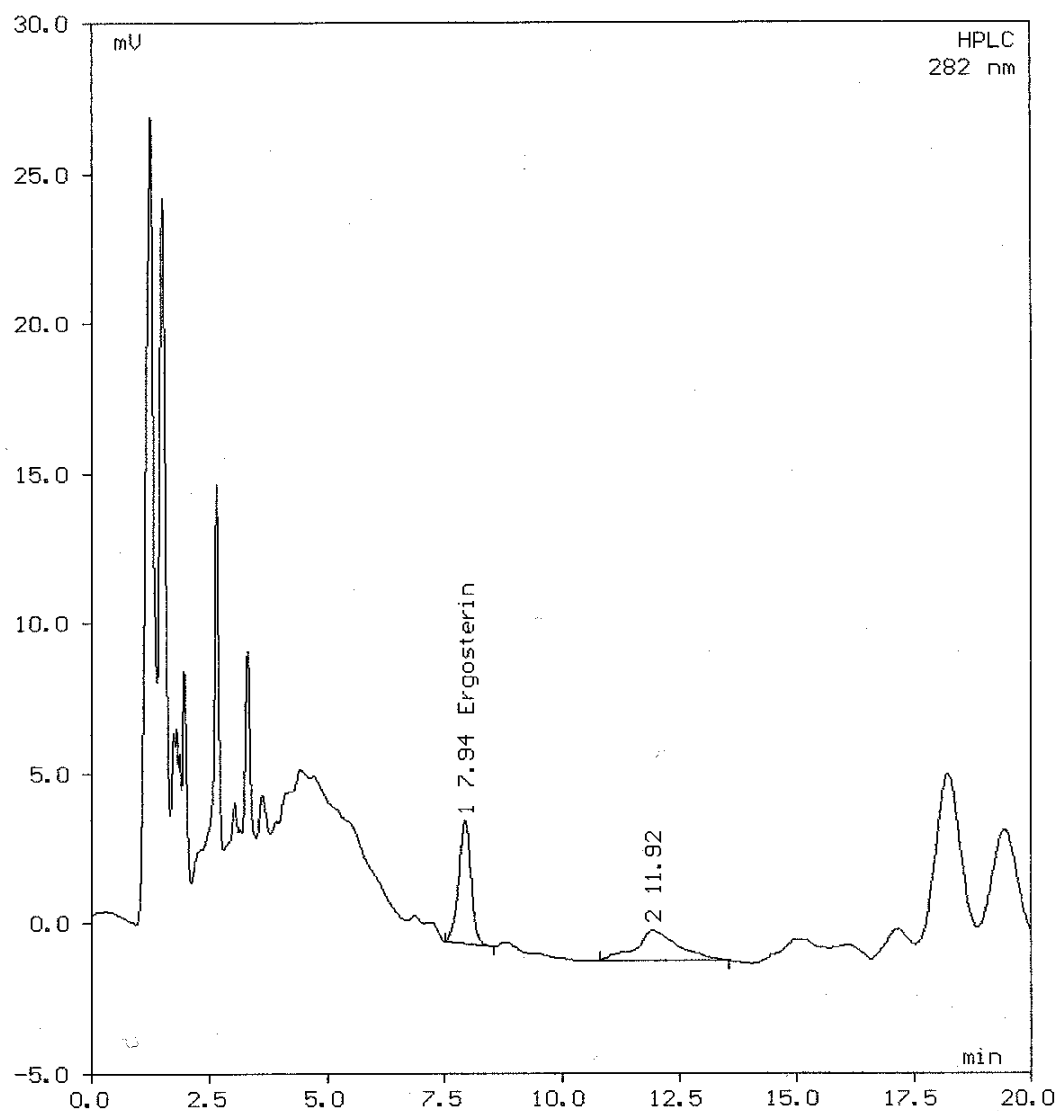
Abb. A 9: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Chromatogramm einer Getreideprobe

Get.2 ohne Addition
(Weizen)

HPLC

1997-01-14
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 11/11	Control:	Standard: External
Sample Type: Integration	Signals: LC-ERG.SIG	Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1997-01-14/17:00	Report:	Dil. Fact.: 1.00000
Method:	P-Table: ERGOSTSI.TAB	Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
1	7.94	Ergosterin	BMB	1.237e+0	4.11	7.45
---	---	Total Sums	---	1.237e+0	4.11	7.45

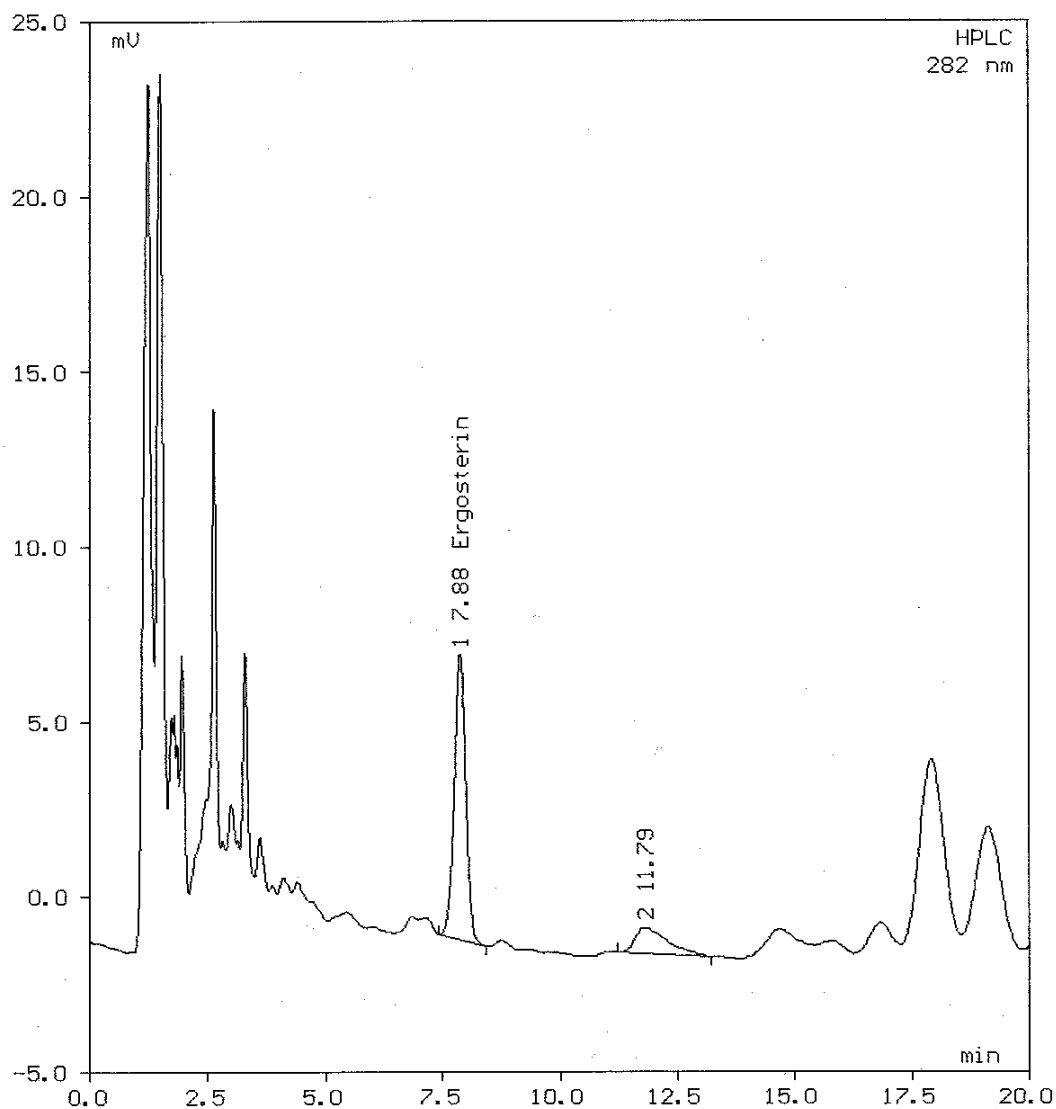
Abb. A 10: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate – Chromatogramm einer Getreideprobe (Get. 2) ohne Addition von Ergosterin (natürlicher Gehalt)

Get.2 + 10 mg/kg ERG
(Weizen)

HPLC

1997-01-14
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 12/12 Control: Standard: External
Sample Type: Integration Signals: LC-ERG.SIG Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1997-01-14/17:2 Report: Dil. Fact.: 1.00000
Method: P-Table: ERGOSTSI.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/g
1	7.88	Ergosterin	BMB	2.318e+0	8.17	14.78
---	-----	Total Sums	---	2.318e+0	8.17	14.78

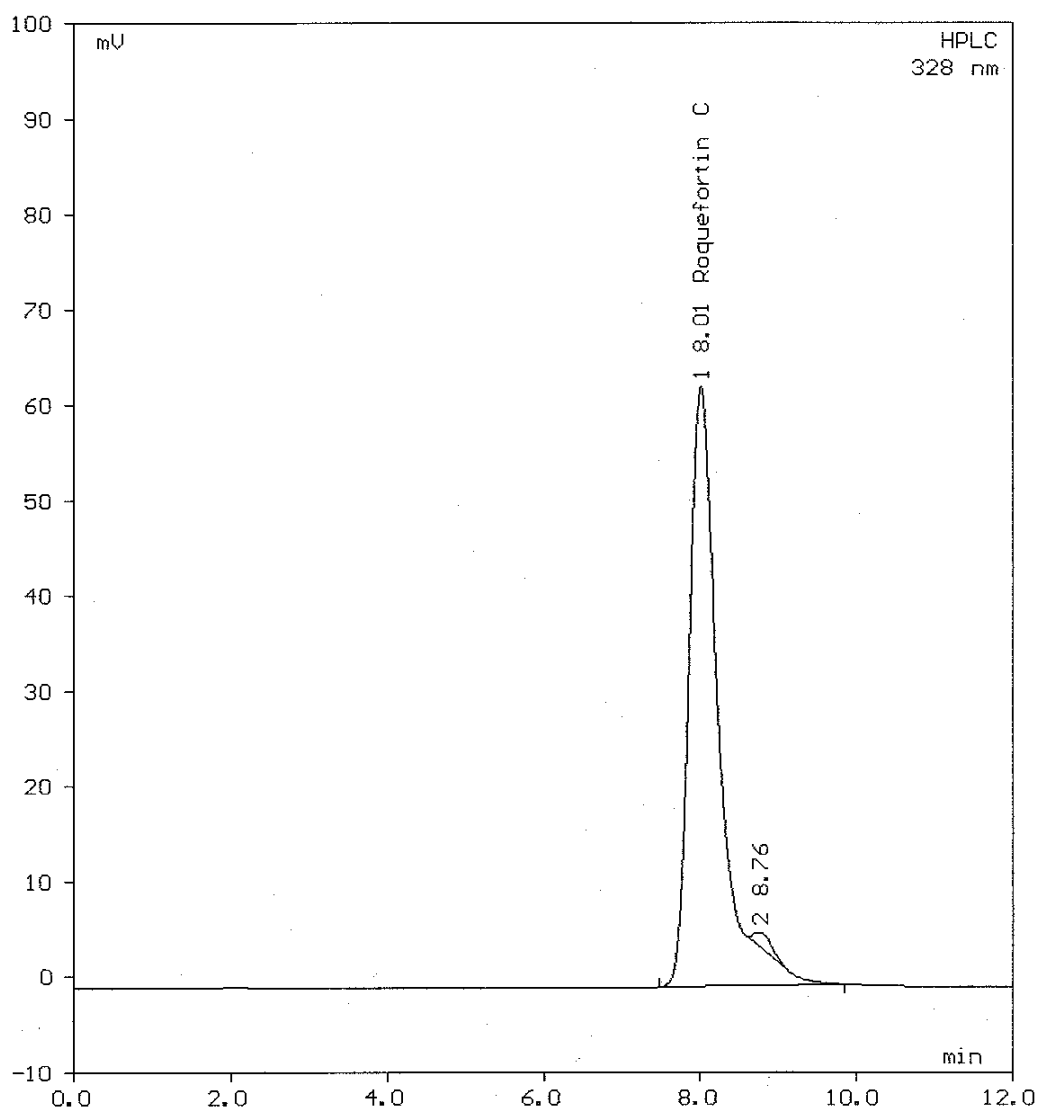
Abb. A 11: Bestimmung von Ergosterin mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Getreideprobe (Get.2) mit Addition von 10 mg ERG/kg T

ROF-Stand. 53,00 ppm
 Modified.

HPLC

1997-02-25
 GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 7/6 Control: Standard: External
 Sample Type: Calib.add.(6) Signals: LC-ROF.SIG Inject: 20.0 µl
 Acquisition: 1997-02-25/20:00 Report: Dil. Fact.: 1.00000
 Method: P-Table: ROF_SCH.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/ml
1	8.01	Roquefortin C	BMB	2.779e+1	62.89	52.94
---	-----	Total Sums	---	2.779e+1	62.89	52.94

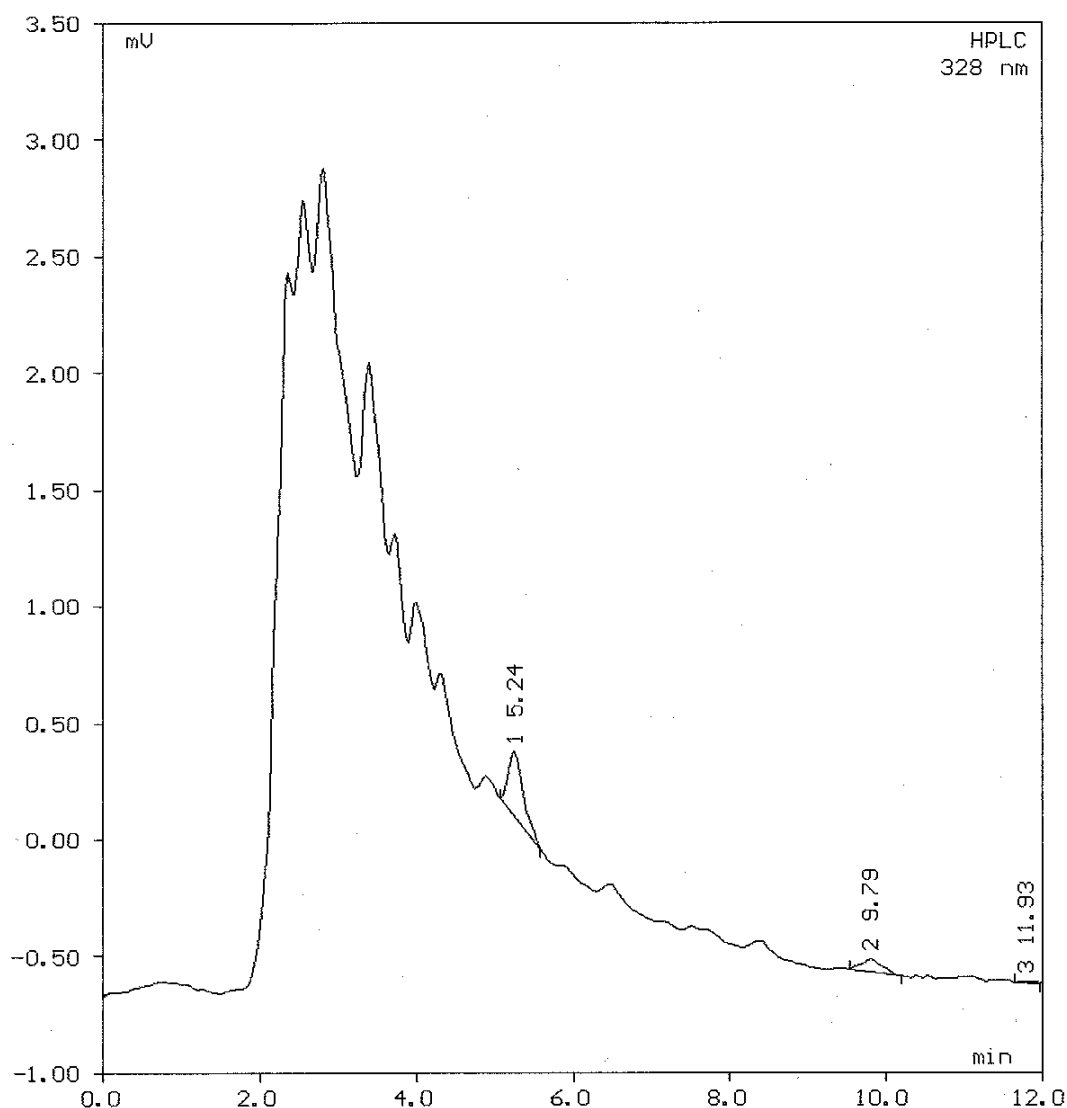
Abb. A 12: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm der Standardsubstanz

Silageprobe 1550R

HPLC

1997-03-09
 GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 21/83 Control: Standard: External
 Sample Type: Integration Signals: LC-ROF.SIG Inject: 20.0 µL
 Acquisition: 1997-03-09/00:2 Report: Dil. Fact.: 1.00000
 Method: P-Table: ROF_SCH.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/ml
---	-----	Roquefortin C	---	-----	-----	-----
---	-----	Total Sums	---	-----	-----	-----

Some components could not be identified!

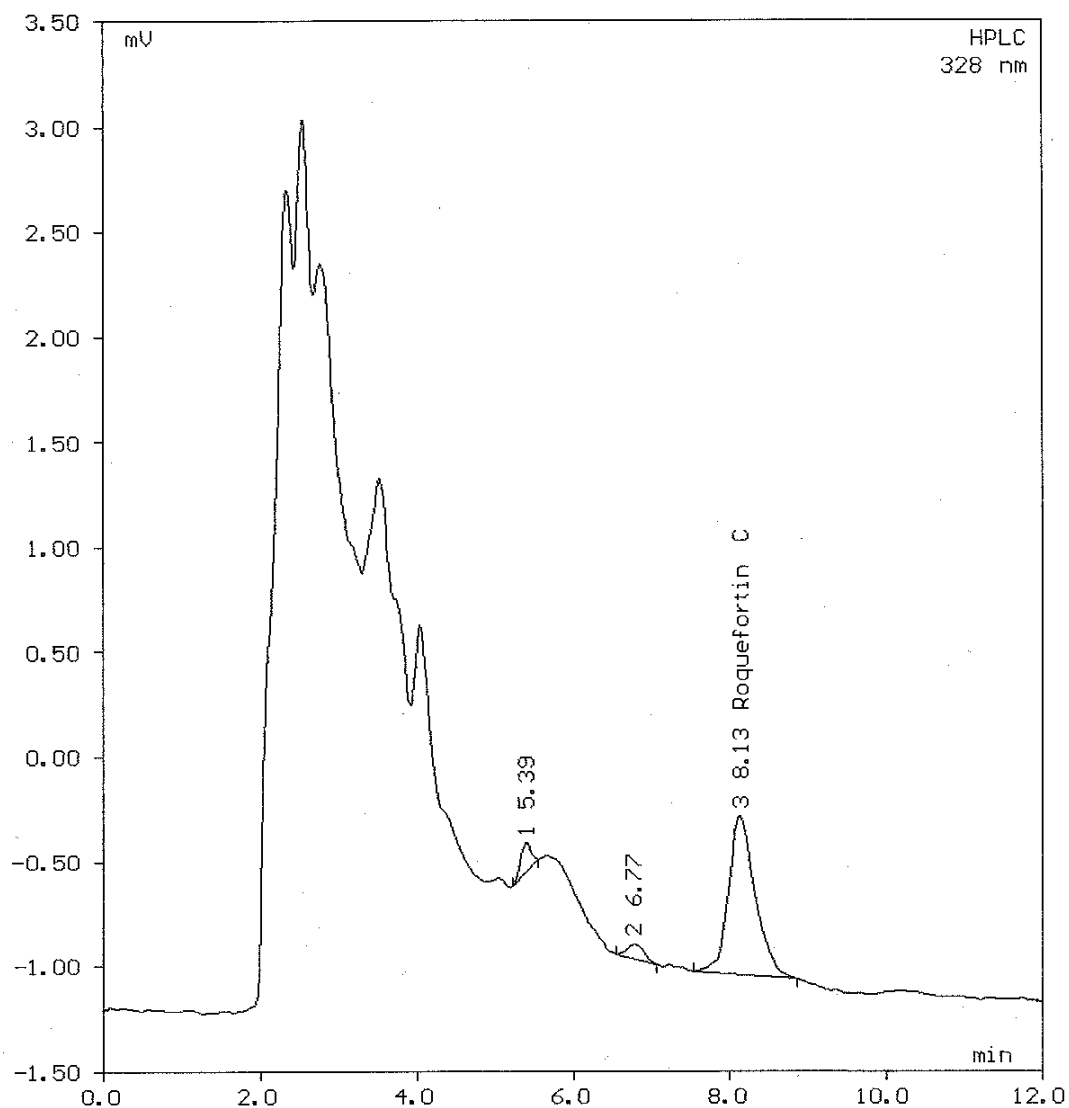
Abb. A 13: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm einer mykotoxin-negativen (< 0,05 mg ROF/kg T) Grassilageprobe

Silageprobe 1534R
 Modified.

HPLC

1997-03-10
 GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 28/92 Control: Standard: External
 Sample Type: Integration Signals: LC-ROF.SIG Inject: 20.0 uL
 Acquisition: 1997-03-10/00:55 Report: Dil. Fact.: 1.00000
 Method: P-Table: ROF_SCH.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/ml
3	8.13	Roquefortin C	BMB	2.999e-1	0.76	0.57
---	-----	Total Sums	---	2.999e-1	0.76	0.57

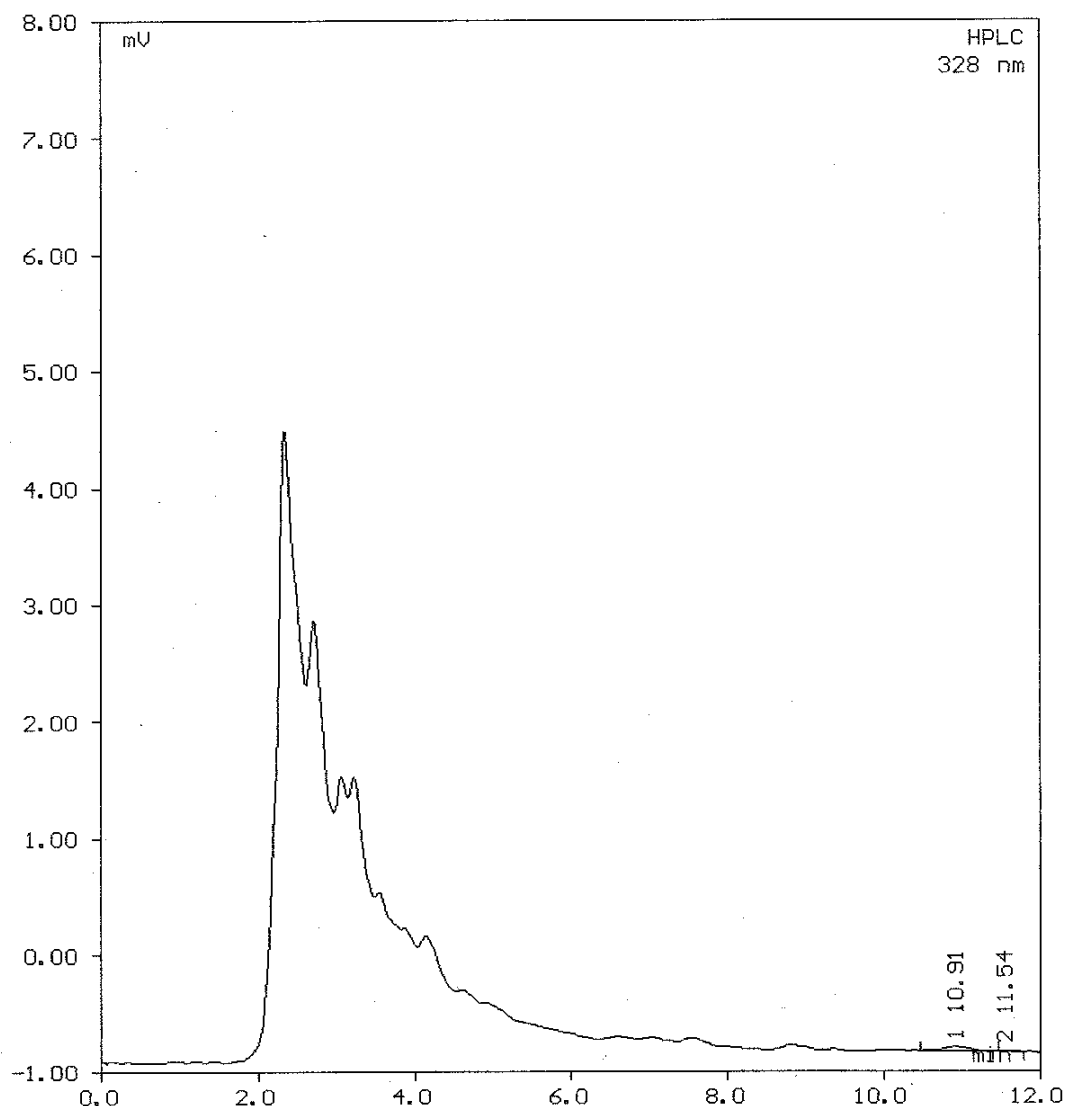
Abb. A 14: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Chromatogramm einer mykotoxin-positiven ($\geq 0,05$ mg ROF/kg T) Grassilageprobe

Si.1 ohne Addition
 Modified.

HPLC

1997-03-06
 GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 13/66 Control: Standard: External
 Sample Type: Integration Signals: LC-ROF.SIG Inject: 20.0 µL
 Acquisition: 1997-03-06/14:55 Report: Dil. Fact.: 1.00000
 Method: P-Table: ROF_SCH.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/ml
---	-----	Roquefortin C	---	-----	-----	-----
---	-----	Total Sums	---	-----	-----	-----

Some components could not be identified!

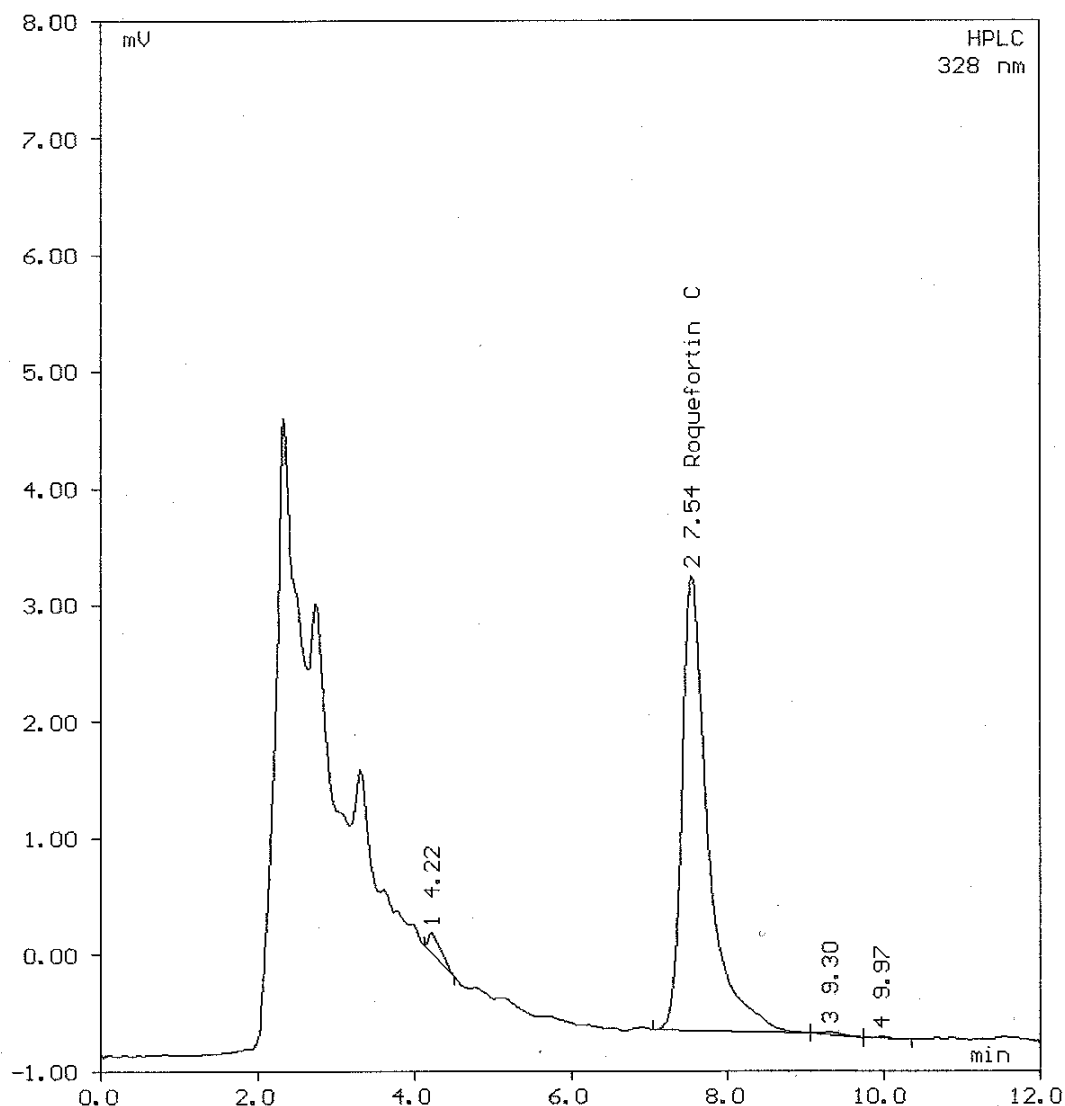
Abb. A 15: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Grassilageprobe (Si. 1) ohne Addition von Roquefortin C

Si.1 + 3,2 mg/kg ROF

HPLC

1997-03-05
GynkoSoft V5.50

Smp. No/Pos: 8/61 Control: Standard: External
Sample Type: Integration Signals: LC-ROF.SIG Inject: 20.0 uL
Acquisition: 1997-03-05/10:4 Report: Dil. Fact.: 1.00000
Method: P-Table: ROF_SCH.TAB Weight: 1.00000



No.	Ret. Time min	Peak Name	Type	Area mV*min	Height mV	Amount µg/ml
2	7.54	Roquefortin C	BMb	1.521e+0	3.90	2.90
---	-----	Total Sums	---	1.521e+0	3.90	2.90

Abb. A 16: Bestimmung von Roquefortin C mittels HPLC - Ermittlung der Wiederfindungsrate - Chromatogramm einer Grassilageprobe (Si. 1) mit Addition von 3,2 mg ROF/kg T



Deutsche Sammlung von
Mikroorganismen und
Zellkulturen GmbH

DSMZ Mascheroder Weg 1b D-38124 Braunschweig

Institut für Agrartechnik Bornim e.V.
Herrn K.-J. Schmerbauch
Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam-Bornim

Ihr Zeichen / Your ref.

Unser Zeichen / Our ref.

Tel.

05 31 / 26 16 239

Datum/Date

15.05.97

Ihr Auftrag vom 18.03.97

Sehr geehrter Herr Schmerbauch,

Ihre beiden Pilzkulturen Pc.24 und PC.38 sind unter den folgenden Nummern in die öffentliche Sammlung der DSMZ aufgenommen worden:


Penicillium roqueforti DSM 11484 (= Pc.24)

Penicillium roqueforti DSM 11485 (= Pc.38)

Beide Stämme wurden wunschgemäß identifiziert; die taxonomische Zuordnung konnte in beiden Fällen eindeutig bestätigt werden.

Die ermittelten Eigenschaften sind auf beiliegenden Protokollen zusammengestellt. Für Rückfragen stehe ich Ihnen natürlich gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen


DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikro-
organismen und Zellkulturen GmbH
Dr. P. Hoffmann

Anlage

Geschäftsführer:
Prof. Dr. Erko Stackebrandt
Aufsichtsratsvorsitzender:
MR Dr. Axel Kolatschny

Bankkonten:
NORD/LB Braunschweig, Kto.-Nr. 2 039 220 (BLZ 250 500 00)
SWIFT: NOLADE 2H
Postbank Hannover, Kto.-Nr. 1060 79 - 304 (BLZ 250 100 30)

Registergericht:
Amtsgericht Braunschweig
HRB 2570

DSMZ - Mascheroder Weg 1b
D-38124 Braunschweig - Germany
Telefon 05 31 / 26 16 - 0
Telefax: 05 31 / 26 16 - 418
E-mail: dsmz@gbf-braunschweig.de

Abb. A 17: Bestätigung der als Impfkulturen für die Laborsiliverversuche L 4 und L 5 vorgesehenen *Penicillium roqueforti* - Isolate Pc.24 und Pc.38 durch die DSMZ

Identifizierung einer Pilzkultur

Einsender: Institut für Agrartechnik Bornim, K.-J. Schmerbauch

Stammbezeichnung: Pc. 24

Herkunft: Silage

Koloniemerkmale:

Ausbreitung auf Malzextraktagar (MEA) bei 25°C etwa 3,5 mm/Tag; auf Czapek-Dox Hefeextrakt Agar 2,5 mm/Tag. Kolonie flach, samtig, grün; Myzel farblos; Rand ungleichmäßig, fransig. Kein Exudat. Rückseite dunkelgrün. Kein Wachstum bei 37°C; gutes Wachstum auf MEA + 0,5% Essigsäure; gutes Wachstum auf Kreatin-Sucrose Agar, keine Säurebildung.

Morphologie:

Konidienträger bis 4 µm Ø, warzig-rau und dünnwandig; Rami vorhanden, Metulae 10-12 µm, Phialiden 8-10 µm lang, flaschenförmig, mit kurzem Hals. Konidien meist kugelig, 4-5 µm Ø, glattwandig.

Identität: *Penicillium roqueforti* Thom

Deutsche Sammlung von Mikro-
organismen und Zellkulturen GmbH

Braunschweig, 15.05.97

Anmerkung: Die Ausbreitung des Stammes auf Czapek-Dox Hefeextrakt Agar ist gegenüber den Angaben der Literatur zu langsam.

Identifizierung einer Pilzkultur

Einsender: Institut für Agrartechnik Bornim, K.-J. Schmerbauch

Stammbezeichnung: Pc. 38

Herkunft: Silage

Koloniemerkmale:

Ausbreitung auf Malzextraktagar (MEA) bei 25°C etwa 4 mm/Tag; auf Czapek-Dox Hefe-extrakt Agar 3,5 mm/Tag. Kolonie flach, samtig, grün; Myzel farblos. Kein Exudat. Rückseite dunkelgrün. Kein Wachstum bei 37°C; gutes Wachstum auf MEA + 0,5% Essigsäure; gutes Wachstum auf Kreatin-Sucrose Agar, keine Säurebildung.

Morphologie:

Konidienträger bis 5 µm Ø, warzig-rauh und dünnwandig; Rami vorhanden, Metulae etwa 10 µm, Phialiden bis 10 µm lang, flaschenförmig, mit kurzem Hals. Konidien meist kugelig, etwa 4 µm Ø, glattwandig.

Identität: *Penicillium roqueforti* Thom

Deutsche Sammlung von Mikro-
organismen und Zellkulturen GmbH

Braunschweig, 15.05.97

Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Klaus-Josef Schmerbauch, daß ich die vorliegende, von Frau Prof. Dr. habil. E. Kaiser, Humboldt-Universität zu Berlin, betreute Dissertation zum Thema „Gärqualität und Schimmelpilzwachstum in Silagen in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und äußerem Luftabschluß“ selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Alle hierzu benutzten Hilfsmittel und wissenschaftlichen Arbeiten wurden genau und vollständig angegeben. Diese Dissertation lag bisher weder in Teilen noch als Ganzes einem Promotionsverfahren zugrunde.

Faulungen, den 23. August 1999

Klaus-Josef Schmerbauch

Danksagung

An dieser Stelle danke ich ganz besonders Frau Prof. E. Kaiser für die Überlassung des Themas und die stets gewährte freundliche Unterstützung bei der Durchführung und Anfertigung der Arbeit.

Herrn Prof. Ch. Fürll und Herrn Prof. J. Bauer möchte ich ganz herzlich für die wertvollen Anregungen und konstruktiven Hinweise bei der Durchführung und Fertigstellung der Dissertation danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. M. Schuster von der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub für die Betreuung bei der chemischen Analytik und die in vielfältiger Weise gewährte Hilfe.

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Prof. M. Müller für die hilfreiche Unterstützung gleich zu Beginn dieser Arbeit, was maßgeblich zu ihrem Entstehen und Gelingen beigetragen hat. Herrn Prof. G. Michaelis danke ich für die großzügige Unterstützung während der Durchführung dieser Arbeit.

Dem Institut für Agrartechnik Bornim e.V. in Potsdam und der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub in Poing danke ich besonders für die Bereitstellung der Arbeitsmöglichkeiten und materiellen Mittel zur Durchführung der Praxis- und Laborsiliverversuche bzw. der Futtermittelanalysen.

Bei den Firmen Lely-Welger und Krone sowie bei der Agrargenossenschaft Uetz-Bornim e.G. bedanke ich mich ganz herzlich für die sehr umfangreiche maschinelle und personelle Unterstützung bei der Durchführung der Praxissiliverversuche bzw. für die Bereitstellung der Grünfutterfläche.

Allen an den Siliverversuchen beteiligten Mitarbeitern möchte ich an dieser Stelle für ihre tatkräftige und engagierte Arbeit unter oftmals schwierigen Versuchs- und Witterungsbedingungen danken. Besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang Herrn J. Geyser für die unter allen Umständen gewährleistete Einsatzbereitschaft der Compactrollenpresse und auch der sonstigen Siliertechnik.

Stellvertretend für alle Mitarbeiter der Abteilungen „Bioverfahrenstechnik“ und „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ des Instituts für Agrartechnik Bornim e.V. möchte ich mich ganz herzlich bei Frau G. Carlow und Herrn R. Zitzmann für die unermüdliche und freundliche Hilfe bei der Bewältigung der umfangreichen analytischen und versuchstechnischen Arbeiten bedanken. Herzlichen Dank an Frau Dr. Ch. Idler für die Hilfe bei der Gewährleistung der Laborsiliverversuche und Herrn H. Fuchs danke ich herzlich für die Unterstützung bei den radiometrischen Messungen.

Ebenso danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des chemischen und biologischen Labors der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub für die sehr freundliche Aufnahme während der Durchführung der chemischen Analysen und die in vielfältiger Weise stets gewährte Unterstützung. Herrn G. Zach danke ich vor allem für die sehr gewissenhafte Hilfe bei der chemischen Analytik.

Mein weiterer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebiets Futtermittelkunde im Institut für Nutztierwissenschaften (INW) für die Durchführung analytischer Untersuchungen. Herrn J. Hoffmann danke ich sehr für die tatkräftige Unterstützung bei der Probenahme und die Überlassung von Analysendaten zum Vorkommen von Listerien in den untersuchten Silageproben.

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt danke ich sehr für die Gewährung eines Stipendiums und die darüber hinaus gebotene Möglichkeit der Teilnahme an Seminaren und Sommerakademien.

Lebenslauf

Name: Schmerbauch
Vorname: Klaus-Josef Johannes
Geburtsdatum: 25. Juni 1963
Geburtsort: Faulungen (Thüringen)
Familienstand: ledig



Schul- und Berufsausbildung / Studium

1979 - 1982 Elektroinstallateur, Dienstleistungskombinat „telelux“ in Mühlhausen / Thüringen
1982 - 1984 Abitur, Abendstudium an der Volkshochschule in Mühlhausen
1988 - 1994 Diplom-Agraringenieur, Fachrichtung Pflanzenproduktion, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin
1994 Agricultural Business Management Certificate, Auslandsstudium (6 Monate) am Sparsholt College in Hampshire / Großbritannien

Berufstätigkeit vor dem Studium / Wehrdienst

1982 - 1984 Elektroinstallateur, Dienstleistungskombinat „telelux“ in Mühlhausen
1984 - 1986 Obermatrose, Grundwehrdienst bei der Marine in Greifswald
1986 - 1987 Hilfspfleger, Fachkrankenhaus für Psychiatrie / Neurologie in Mühlhausen
1987 - 1988 Elektroinstallateur, Kombinat Landschafts- und Grünanlagenbau in Mühlhausen

Praktika während des Studiums

1991 Entwicklungshilfepraktikum (4 Monate), Hyderabad in Andhra Pradesh / Indien, Stipendium / Certificate der Carl Duisberg - Gesellschaft e.V. (ASA-Programm)
1991 - 1992 Landwirtschaftliches Betriebspraktikum mit Praktikantenprüfung (12 Monate), Versuchsgut Wiesengut für organischen Landbau der Universität Bonn
1993 Laborpraktikum Futtermittelanalyse (3 Monate), Chemisches und Biologisches Labor der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht Grub in Poing

Berufstätigkeit nach dem Studium / Promotion

1994 - 1999 Doktorand der Agrarwissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin
Arbeitsorte: - Institut für Agrartechnik Bornim e.V. in Potsdam
 - Bayerische Landesanstalt für Tierzucht Grub in Poing
Projekt und Stipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Weiterbildung

1999 - 2000 Organisator Logistik für SAP R/3 mit betriebswirtschaftlicher Zusatzqualifikation (SAP R/3-Module MM und PP, ABAP/4), DEKRA Akademie GmbH in Würzburg